

Forskningsrapport nr. 168 / 2015  
Research report no. 168 / 2015

---

# Bruk av egne forskningserfaringer i utvikling av undervisningspraksis

Profileringsdokument for  
vurdering av kvalifisering til førstelektor

Av  
Geir Vegge



**Høgskolen  
i Lillehammer**

Lillehammer University College • [hil.no](http://hil.no)

For fullstendig oversikt over publikasjonene i HiLs skriftserie se  
[http://hil.no/hil/biblioteket/forskning\\_og\\_publicering/skriftserien\\_ved\\_hil](http://hil.no/hil/biblioteket/forskning_og_publicering/skriftserien_ved_hil)

**Kr. 200,-**

**ISSN 0806-8348**

**ISBN 978-82-7184-381-6 (Trykt versjon)**

**ISBN 978-82-7184-382 -3 (Versjon publisert på nett)**

Alle synspunkter står for forfatterne sin regning. De må ikke tolkes som uttrykk for oppfatninger som kan tillegges Høgskolen I Lillehammer. Denne artikkel kan ikke reproduseres - helt eller delvis - ved trykking, fotokopiering eller på annen måte uten tillatelse fra forfatteren.

Any views expressed in this article are those of the authors. They should not be interpreted as reflecting the views of Lillehammer University College. This article may not be reprinted in part or in full without the permission of the author.

# **Bruk av egne forskningserfaringer i utvikling av undervisningspraksis: Profileringsdokument for vurdering av kvalifisering til førstelektor**

## **Sammendrag**

Dokumentet presenterer mine forsknings- og utviklingsarbeid og arbeid knyttet til studiekvalitet for temaområdet treningslære og bevegelseslære på 1. år bachelor idrett ved Høgskolen i Lillehammer. I redegjørelsen viser jeg både hvordan studentevalueringer og min stadig økende idrettsfysiologiske og forskningsmetodiske kompetanse er integrert i dette arbeidet. Jeg presenterer i tillegg mine syv idrettsfysiologiske publiseringer i internasjonale fagfellevurderte tidsskrift, mine to artikkelutkast og mine presentasjoner på internasjonale forskningskonferanser.

Emneord: Studiekvalitetsarbeid, studentevalueringer, bachelor idrett.

## **Summary**

This report presents my research and work pertaining to study quality within the subjects Exercise Physiology and Biomechanics at the first year of the bachelor programme in Sports Science at Lillehammer University College, Norway. A primary goal is to show how both student evaluations and my increasing skills as a researcher are integrated in this work. In addition, seven peer reviewed papers, two drafts of papers and presentations on international research conferences are presented.

Key words: study quality, student evaluations, bachelor in Sports Science.



## **FORORD**

Dette er et profileringsdokument der jeg på bakgrunn av mine pedagogiske og idrettsfysiologiske arbeider søker om å bli vurdert i forhold til 1.lektorkompetanse. Dokumentet har et særlig fokus på mine siste fem arbeidsår, dvs. tidsperioden jeg har vært del av Høgskolen i Lillehammer sitt 1. lektorprogram. Relevante erfaringer og arbeider fra tidligere jobbår er imidlertid også tatt med.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder på 1.lektorprogrammet, Bent Rønnestad. Særlig stimulerende og lærerikt har det vært å jobbe sammen med deg i idrettsfysiologiske forskningsprosjekt. I tillegg har du vært en verdifull støttespiller i mitt pedagogisk orienterte arbeid, både som diskusjonspartner og gjennom å gi tilbakemeldinger på skriftlige utkast.

Jeg vil også rette en takk til resten av mine gode kolleger på seksjon for idrettsvitenskap ved Høgskolen i Lillehammer. Det er flott å være del av et så engasjerende miljø som samtidig er preget av høy faglig kompetanse. Jeg ønsker også å takke ansatte på høgskolens eksamenskontor og inntakskontor for tilgang til statistiske data, samt å takke de ansvarlige for 1.lektorprogrammet på HiL. Programmet har inspirert til å utforme egne forsknings- og utviklingsarbeider. Takk også til avdelinga mi (ASV) som har gitt meg utvidet forskningstid i fire år og til kona og barna for overbærenhet med en mann som tidvis har sittet med jobbgjøremål «utover normert arbeidstid».

# Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG/ SUMMARY

FORORD

1	Bakgrunn og oppbygning.....	1
2	Utdanning og mine første arbeidsår .....	2
3	Pedagogisk arbeid ved Høgskolen i Finnmark.....	3
3.1	Førskolelærerutdanningen .....	3
3.2	PPU, inkl utarbeiding av ny fagplan.....	3
4	Mine første jobbår ved Høgskolen i Lillehammer (HiL).....	5
5	Deltakelse på HiLs førstelektorprogram.....	6
6	1BA idrett ved HiL innen mine ansvarsområder .....	7
6.1	Studieårene h10/v11- h13/v14.....	7
6.1.1	Emnestruktur .....	7
6.1.2	Undervisning og arbeidskrav.....	7
6.1.3	Studentevalueringer.....	8
6.1.4	Kartlegging av studentenes kompetanse i matematikk og biomekanikk.....	13
6.1.5	Oppsummering, tolkninger og vurderinger .....	14
6.2	Revideringsarbeid for temaområdet treningslære og bevegelseslære .....	15
6.2.1	Pedagogiske grunntanker bak revideringsarbeidet.....	15
6.2.2	Utforming av emnestrukturen for h14/v15.....	16
6.2.3	Utforming av emneplaner og læringsutbytttemål .....	17
6.2.4	Utforming av Læringsmåldokument (operasjonaliserte læringsutbytttemål).....	18
6.3	Emnet Anatomi & bevegelseslære studieåret h14/v15.....	19
6.3.1	Emneoppbygning.....	19
6.3.2	Gjennomføringen av emnet .....	20
6.3.3	Utvikling av faglig- pedagogiske ressurser .....	24
6.4	Emnet Treningslære studieåret h14/v15 .....	25
6.4.1	Emneoppbygning.....	25
6.4.2	Gjennomføringen av emnet .....	26
6.4.3	Utvikling av faglig- pedagogiske ressurser .....	28

6.5	Studentevalueringer studieåret h14/v15 .....	28
6.5.1	Metode.....	28
6.5.2	Funn.....	29
6.5.3	Vurderinger .....	33
7	2BA idrett og 3BA idrett ved HiL innen mine ansvarsområder .....	39
8	Idrettsfysiologiske forskningsarbeider .....	40
8.1	Publiserte artikler .....	40
	Artikkel 1.....	40
	Artikkel 2.....	41
	Artikkel 3.....	42
	Artikkel 4.....	43
	Artikkel 5.....	43
	Artikkel 6.....	44
	Artikkel 7.....	45
8.2	Utkast til artikler.....	46
	Artikkelutkast 1 .....	46
	Artikkelutkast 2 .....	47
9	Ekstern formidling .....	48
10	Oppsummering.....	49
	KILDELISTE .....	50
	VEDLEGGSOVERSIKT.....	53

# 1 Bakgrunn og oppbygning

Dette er et profileringsdokument for vurdering til 1.lektorkompetanse og redegjør for min erfaringsbakgrunn og mine forsknings- og utviklingsarbeider.

Etter endt utdanning arbeidet jeg de første syv årene som lektor m/ opprykk i videregående skole, der jeg hovedsakelig underviste på idrettsfaglig studieretning og i kroppsøving. Deretter har jeg jobbet i høgskolesystemet: først tre år på seksjon for idrett ved Høgskolen i Finnmark og deretter i min nåværende stilling ved seksjon for idrettsvitenskap ved Høgskolen i Lillehammer (HiL), der jeg har arbeidet siden høsten 2007. I årene ved HiL har jeg drevet med både pedagogiske arbeid og idrettsfysiologisk forskning. I dette dokumentet presenterer jeg syv idrettsfysiologiske arbeider jeg sammen med kolleger har publisert i internasjonale fagfelleverderte tidsskrift, samt ytterligere to utkast til idrettsfysiologiske publiseringer. I tillegg presenterer jeg mine pedagogiske utviklingsarbeider og viser hvordan jeg har nyttiggjort min stadig økende kompetanse innen idrettsfysiologi og forskning i utviklingen av undervisningspraksis. Særlig bred omtale har jeg gitt til utviklingen av mine emneansvarsområder på 1. år bachelor idrett ved HiL.



## 2 Utdanning og mine første arbeidsår

Utdanningen min omfatter både idrettsfag, samfunnsfag og praktisk- pedagogisk utdanning. Fra Norges Idrettshøgskole har jeg tatt fagene Grunnfag idrett (60 sp), Kroppsøvningsstudiet (60 sp), Helselære- og idrettsbiologi (60 sp) og Hovedfag idrett. Kroppsøvningsstudiet ga meg formell kompetanse til å undervise i kroppsøvnings- og idrettsfag. I tillegg til nevnte fag har jeg også tatt Examen Philosophicum, Grunnfag sosiologi og Praktisk- pedagogisk utdanning for samfunnsfag.

Siden mye av mitt pedagogiske virke utspant seg lenge før jeg begynte å jobbe i høgskolesystemet, starter jeg med et tilbakeblikk på mine første yrkesaktive år. I studietiden hadde jeg flere små og store jobbengasjement. De mest pedagogisk orienterte jobbene fra denne tida var vikartimer på barne,- ungdoms- og videregående skole samt ulike deltidsengasjement: som friidrettstrener, treningsstudioinstruktør, tre somre som idrettskonsulent ved Bredtveit kvinnefengsel og et årsvikariat som kroppsøvnings- og idrettsfagslærer ved Lambertseter vg. skole.

Etter den tid jobbet jeg seks år som lektor m/ opprykk i videregående skole, hvorav fem år på Ulsrud vg. skole og ett år på Valdres vg. skule. Jeg underviste særlig i kroppsøving og i de fire fagene på idrettsfaglig studieretning (Ledelse- og instruksjon, Idrett, individ og samfunn, Treningslære og Aktivitetsledelse), men underviste i flere av årene også i Humanfysiologi på studieretning for Helse- og sosialfag. I tre av mine år ved Ulsrud vg. skole var jeg fagleder for kroppsøving og idrettsfag. Som fagleder utgjorde jeg sammen med rektor, viserektor og skolens øvrige fire fagledere skolens pedagogiske ledelsesteam. Det pedagogiske ledelsesteamets hovedoppgave var å arbeide med overordnede strategier for læring samt å igangsette utvalgte pedagogiske pilotprosjekt. Knyttet til konkrete prosjekt hadde jeg en særlig sentral rolle i et prosjekt der alle elevene i idrettsklassen jeg var klassestyrer for, fikk utdelt hver sin bærbare PC. Prosjektet førte med seg at vi som lærere endret vår primære måte å jobbe på til i større grad å bli en veilederrolle og til i større grad å nyttiggjøre de pedagogiske mulighetene internett ga som kilde til informasjon.

### **3 Pedagogisk arbeid ved Høgskolen i Finnmark**

F.o.m. høsten 2004 t.o.m. våren 2007 arbeidet jeg ved Høgskolen i Finnmark. Der underviste jeg hovedsakelig på tre studieløp: Førskolelærerutdanningen, Praktisk- pedagogisk utdanning (PPU) og på Bachelor i idrett. I tillegg hadde jeg noe undervisning på Friluftsliv årsenhet og noe på Idrett årsenhet på allmennlærerutdanningen. Nedenfor tar jeg for meg erfaringene fra Førskolelærerutdanningen og PPU.

#### **3.1 Førskolelærerutdanningen**

På Førskolelærerutdanningen var jeg i to år emneansvarlig for emnet «Fysisk fostring». Oppgavene mine besto av teoretisk og praktisk undervisning, av å følge opp studenters barnehagepraksis og av å planlegge og gjennomføre tverrfaglige undervisningsprosjekt sammen med emneansvarlige for pedagogikk, naturfag og samfunnsfag. I undervisningen i «Fysisk fostring» la jeg vekt på at studentene skulle få prøve ut om pedagogiske teorier og praktiske organiseringsformer fungerte i «ekte omgivelser». Jeg inviterte derfor gjentatte ganger barnehagebarn på besøk til Høgskolens idrettshall og til skuleik- anlegg studentene og jeg hadde laget. En av de positive effektene av å invitere barnehagebarn til slike undervisningssekvenser, var at studentene da jobbet ekstra godt med planleggingen av undervisningsopplegget. En forklaring kan ha vært at studentene følte slike kontekster som særlig meningsfulle som følge av at situasjonen liknet på den virkeligheten de ville møte i sitt framtidige yrke. Kanskje spilte det også inn at enkelte barnehageansatte var til stede under gjennomføringene og at studentene var opptatt av å gi et godt inntrykk på mulige framtidige arbeidsgivere. For læringsarbeidet hadde gjennomføringene ytterligere en gevinst: at erfaringene kunne trekkes inn i kommende undervisning. Ved gjennomgang av nytt teoristoff kunne jeg legge opp undervisningen slik at vi tok utgangspunkt i våre felles erfaringer. Siden de felles erfaringene i tillegg var praksisnære, ble det enklere å knytte teoristoffet til en relevant kontekst.

#### **3.2 PPU, inkl utarbeiding av ny fagplan**

På PPU idrett var arbeidsoppgavene mine i utgangspunktet å undervise og å følge opp studentene i deres skolepraksis. I mitt første jobb- år ved Høgskolen i Finnmark underviste i didaktikk for kroppsøving/ idrett samt i temaene uteskole og problembasert læring som ble undervist felles for studenter som tok didaktikk i kroppsøving/ idrett, fremmedspråk og samfunnsfag. Undervisningen for temaene uteskole og problembasert læring var tverrfaglig vinklet, og mange studenter syntes det var faglig berikende at undervisningen for disse temaene ble gjennomført sammen med studenter med annet fordypningsfag enn de selv hadde. Det var også enighet mellom faglærerne for de involverte fagene at den tverrfaglige undervisningen passet godt med den skoleringen PPU- utdanningen var ment å gi.

I mitt andre arbeidsår ved Høgskolen i Finnmark ba daværende dekan Ole Olsen meg om å ta hovedansvaret for å utvikle en ny emneplan for PPU for fagområdet didaktikk kroppsøving/ idrett samt for didaktikk som kunne være felles for kroppsøving/ idrett, fremmedspråk og

samfunnsfag. Utgangspunktet for dekanens utspill var det forutgående års vellykkede erfaring med felles didaktikkundervisning for flere fagdisipliner for temaene uteskole og problembasert læring. Muligheten for ressurs sparing var også blant motivasjonsfaktorene bak utspillet. Med meg i arbeidet med å utvikle en ny plan for fagdidaktikk i idrett/ kroppsøving fikk jeg Jorid Hovden, mens Leena Niiranen og Harald Skogseid bidro i arbeidet med planen for felles didaktikk for idrett/ kroppsøving, fremmedspråk og samfunnsfag. Arbeidet vårt var basert på den gjeldende rammeplanen for PPU (Regjeringen 2003). I arbeidet kom vi fram til en rekke tema vi mente ville passe i en felles didaktikkbolk og vi endte opp med å lage en fagplan bestående av 10 studiepoeng fellesdidaktikk for kroppsøving/ idrett, fremmedspråk og samfunnsfag og 20 studiepoeng fagspesifikk didaktikk. Fellesdidaktikken ble fordelt på to moduler. For fellesdidaktikk samlet vi temaer som skulle fremme bruken av tverrfaglige problemstillinger i skolen. Den ene modulen ble hetende «Lov, plan og undervisning», der bl.a. temaene uteskole og problembasert læring inngikk. Den andre modulen ble hetende «Skolesamfunnet i endring». Den fagspesifikke didaktikken for kroppsøving og idrettsfag ble fordelt på følgende fire moduler: Kroppsøvingsfagets egenart, utvikling og legitimering; Utviklingsarbeid og planarbeid; Tilrettelegging og gjennomføring av undervisning; Vurdering og veiledning. Fagplanen ble gjort gjeldende for PPU ved Høgskolen i Finnmark fra høsten 2006 (vedlegg 1).

Fagplanen for kroppsøving og idrettsfag på PPU ble utformet med ytterligere en tilpasning i tankene. Årsstudium for idrett hadde flere ganger fått henvendelser fra personer med 3-årig lærerhøgskole som ønsket å ta årsenhet idrett som 4. året i allmennlærerutdanningen sin. Disse hadde Høgskolen i Finnmark tidligere måttet si nei til siden regelverket sa at årsstudiet bare kunne telle som 4. år i lærerutdanningen dersom årsenheten inneholdt minst 10 studiepoeng med fagdidaktikk for kroppsøving. Fra studieåret 2006/2007 kunne disse studentene nå få innpass på årsenhet idrett ved at de i stedet for emnene bevegelseslære 1 og 2 (til sammen 10 sp) tok 10 av de kroppsøvingsspesifikke studiepoengene for PPU.

## **4 Mine første jobbår ved Høgskolen i Lillehammer (HiL)**

Jeg har vært ansatt på seksjon for idrettsvitenskap ved Høgskolen i Lillehammer (HiL) siden august 2007. De første tre årene mine ved HiL hadde jeg emneansvaret for og mesteparten av undervisningen i emnet Trenings- og bevegelseslære og i delemnet Basistrening på 1. år bachelor idrett, samt for emnene Aktivitetsledelse med praksis og Fysisk aktivitet og helse 1 på 2. år bachelor idrett.

Overgangen fra undervisningen jeg hadde hatt ved Høgskolen i Finnmark var stor, både fordi jeg ved HiL underviste i flere nye undervisningsfag og fordi mange av rammefaktorene var ulike. Den største organisatoriske forskjellen var at mens alle timer hadde hatt oppmøtekrav ved Høgskolen i Finnmark, var oppmøtekrav kun gjeldende for de praktiske timene ved HiL. En annen stor forskjell var den klart større andelen toppsatsende idrettsutøvere ved HiL. Idrettssatsingen førte med seg at mange studenter til enhver tid ikke kunne møte på undervisningen grunnet treningssamlinger og konkurranser. En konsekvens av dette var et klart ønske fra studentene om tydelig informasjon om hva som var gjennomgått i undervisningstimer de var fraværende fra. Ved Høgskolen i Finnmark hadde jeg stort sett gjennomgått fagstoff ved bruk av studentaktive undervisningsformer. Bl.a. hadde jeg ofte gjennomført dialogpreget undervisning samt problembasert læring og samarbeidslæring. Dette er undervisningsformer der studentene har en svært aktiv rolle. Ved HiL var tradisjonen, og studentens forventning, at man ved å gå inn på høgskolens digitale læringsplattform (Fronter) skulle kunne finne undervisningspresentasjoner som tydeliggjorde vesentlig innhold som var gått igjennom. Dette førte med seg at den typiske teoriundervisningen ble fokusert rundt formidlingsfokuserede powerpoint- slides med mye innhold (tekst/ informasjon). Min oppfatning om at studentene både ønsket og forventet en formidlingspreget undervisning, gjorde at jeg i stor grad gjennomførte undervisningen slik, selv om formidlingsmetoden i stor grad brøt med hvordan jeg mente undervisningen burde gjennomføres for at studentenes læring skulle bli best mulig.

## 5 Deltakelse på HiLs førstelektorprogram

I mine tre første arbeidsår ved HiL var mulighetene for å drive utstrakt forsknings- og utviklingsarbeid begrenset grunnet stillingens store fokus på undervisningsrelatert virksomhet. Premissene endret seg imidlertid i 2010. HiL utlyste da fem 1.lektorstipendier. Jeg var blant dem som fikk et slikt stipend. Opptaket gjorde både at jeg fikk følge ulike kurs i høgskolens 1.lektorutdanning og at jeg fikk en ny stillingsbrøk som ga mer tid til forsknings- og utviklingsarbeid. 1.lektorprogrammet hadde et stort fokus på praksisnær forskning og på aksjonsforskning og ga meg økt inspirasjon og kompetanse i å utvikle egne emner med tanke på å gi best mulig læring for studentene. Programmet ga meg i tillegg større innsikt i aktuelle metoder for å evaluere studentenes læring.

Som del av 1.lektorprogrammet skrev jeg en rapport innen modulen «Praksisnær forskning». For å få bakgrunnsdata for rapporten valgte jeg å gjennomføre en grundig studentevaluering av emnet Trenings- og bevegelseslære på 1. år bachelor idrett studieåret h10/v11. Dette var et emne jeg både var emneansvarlig for og hadde det meste av undervisningen i. Omtrent på samme tid hadde jeg i samarbeid med kolleger igangsatt flere idrettsfysiologiske forskningsprosjekt med datainnsamlinger på høgskolens testlaboratorium. Gjennom arbeidet med rapporten så jeg klare muligheter for å bruke min stadig økende kompetanse innen idrettsfysiologisk forskning i utviklingen av mine emneansvars- fag på 1. år bachelor idrett. Det første året som 1.lektorstipendiat var jeg mest opptatt av å utnytte den økte idrettsfysiologiske forskningskompetansen min til å utvikle lærerike arbeidskrav for studentene. I de påfølgende årene utvidet fokuset seg til å omfatte utvikling av hele emner med tanke på å gjøre dem mest mulig lærerike for studentene.

## 6 1BA idrett ved HiL innen mine ansvarsområder

Ved alle mine jobbår ved Høgskolen i Lillehammer har mitt faglige ansvarsområde på 1. år bachelor idrett vært innen temaene treningslære og bevegelseslære. Dette temaområdet vil derfor fokuseres i min omtale av første år bachelor idrett.

### 6.1 Studieårene h10/v11- h13/v14

#### 6.1.1 Emnestruktur

I perioden h10/v11- h13/v14 besto 1. år bachelor idrett av de tre teoretiske emnene Idrett, individ og samfunn (15 sp), Idrettsbiologi (15 sp) og Trenings- og bevegelseslære (15 sp) samt det praktiske emnet Idrettsaktiviteter (15 sp). Idrettsaktiviteter hadde et sammensatt innhold. Dels besto det av en rekke praktiske aktiviteter der fokuset var innlæringsmetodikk (to tredjedeler av emnet). Undervisningen i disse timene hadde sitt teoretiske grunnlag fra en definert del av emnet Idrett, individ og samfunn som omhandlet aktivitetspedagogikk. Den resterende delen av emnet Idrettsaktiviteter hadde som mål å gi studentene praktiske erfaringer med øvelser, metoder og prinsipper innenfor temaområdet treningslære og bevegelseslære. Denne tredjedelen av emnet ble også kalt Basistrening.

*Tabell 1. Tabellen nedenfor viser emnestrukturen på 1. år bachelor idrett for studieårene h10/v11- h13/v14.*

Emnenavn	Studiepoeng
Idrett, individ og samfunn	15
Idrettsbiologi	15
Trenings- og bevegelseslære	15
Idrettsaktiviteter (bl.a. Basistrening)	15

#### 6.1.2 Undervisning og arbeidskrav

I studieårene h10/v11- h13/v14 hadde jeg både emneansvaret for og det meste av undervisningen i både Trenings- og bevegelseslære og Basistrening. Med hensyn til oppbygging, rekkefølge og omfang var undervisningen jeg gjennomførte i både Trenings- og bevegelseslære og Basistrening ganske lik i alle disse årene. Alle år var forelesning med bruk av power- point- presentasjoner det klart mest anvendte i teoritimene, unntatt for bevegelseslæretemaene der power- point- baserte forelesninger ble supplert med mange demonstrasjoner og sekvenser med oppgaveløsninger. Etter hver teoritime formulerte jeg skriftlige kontrollspørsmål som jeg la ut på høgskolens digitale læringsplattform (Fronter). Alle årene var disse av liknende type og omfang, og emnets to arbeidskrav var hvert av årene gruppearbeidskrav. Når det gjaldt ytre rammer, var den mest vesentlige justeringen fra år til år knyttet til innholdet i et arbeidskrav der 4-6 studenter skulle gjennomføre fire fysiske tester/ målinger som de skulle skrive en felles rapport på bakgrunn av. Enkelte av testene/ målingene

var like for alle studieårene, men i årenes løp var det hele tiden en utvikling mot mer vitenskapelige målemetoder. Dette var en mulig utvikling grunnet at det idrettsfysiologiske testlaboratoriet ved HiL ble stadig mer velutstyrt og at undertegnede utviklet en høyere faglig og testmetodisk kompetanse. For studieåret h10/v11 ble måleutstyr som brukes ved vitenskapelige idrettsfysiologiske publiseringer kun brukt i 1 av 4 arbeidskravsoppgaver (måleutstyret «Muscle Lab»). I studieåret h13/v14 ble måleutstyr som brukes ved vitenskapelige idrettsfysiologiske publiseringer brukt i 3 av 4 arbeidskravsoppgaver (måling av overflate-EMG ved styrketreningsøvelser, måling av hopp høyde ved ulike typer sats på kraftplattform og måling av kraftutvikling ved ulike vinkelhastigheter i styrketreningsøvelsene kneekstensjon og knefleksjon).

### 6.1.3 Studentevalueringer

#### Metode

I årene h10/v11- h13/v14 gjennomførte jeg grundige emneevalueringer av emnet Trenings- og bevegelseslære. Evalueringene ble gjennomført 1-2 uker før eksamen da det gjensto minimalt med undervisning i emnet. Evalueringsopplegget ble gjennomført i en obligatorisk undervisningstime og besto av både individuelle og gruppevise evalueringer.

Deltakelsesprosenten var høy alle årene (henholdsvis 87 % av kulletts 75 studenter, 90 % av kulletts 68 studenter, 92 % av kulletts 102 studenter og 79 % av kulletts 85 studenter for studieårene h10/v11, h11/v12, h12/v13 og h13/v14).

De individuelle evalueringene ble gjennomført ved at studentene fikk utlevert et skriftlig individuelt spørreskjema de skulle besvare anonymt. Spørsmålene og rekkefølgen var identisk for alle årene og studentene fikk god tid til å besvare dem. Spørsmålene i det individuelle anonyme spørreskjemaet dreide seg om emnets arbeidskrav, emnets opplevde faglige vanskegrad og om hvor detaljert studentene ønsket at emnets læringsmål burde presenteres. For å bearbeide spørreundersøkellesdataene la jeg dem inn i Excel. Excel ble også benyttet ved utregninger og statistiske beregninger. For å undersøke forskjeller mellom variabler for samme studentkull ble det benyttet Student's t-test med tosidig fordeling for parvise utvalg, mens for å undersøke forskjell mellom ulike årskull ble det benyttet Student's t-test med tosidig fordeling for uavhengige utvalg. Signifikansnivået ble satt til  $p < 0.05$ .

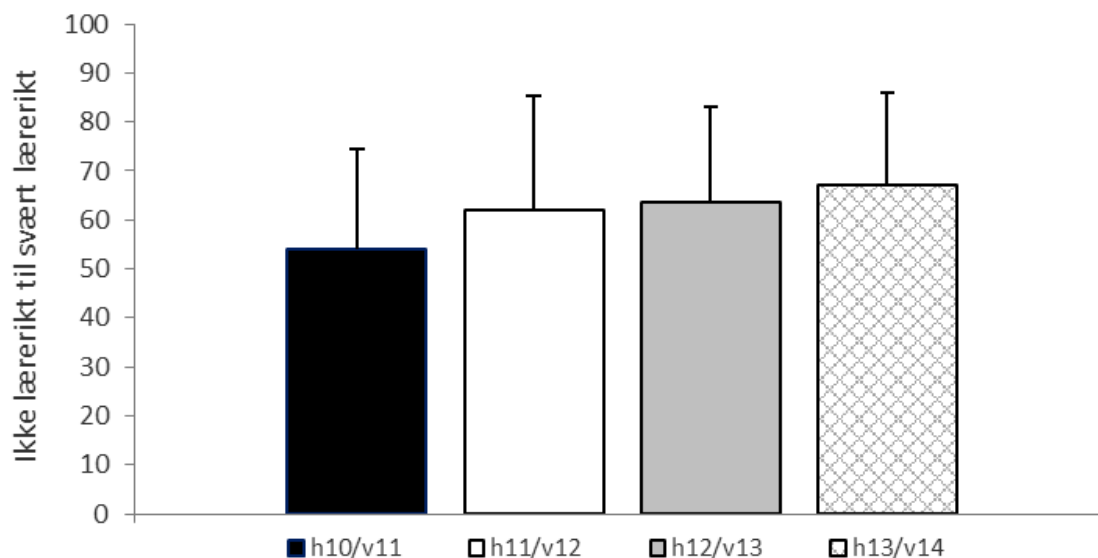
Gruppeevalueringen ble gjennomført ved at grupper à ca 5 studenter skriftlig og anonymt besvarte fire åpne spørsmål om emnet. De fire spørsmålene innbød til å gi viktige tilbakemeldinger i forhold til å kunne forbedre emnet og hadde en mer åpen tilnærming enn spørsmålene i de individuelle evalueringene. Spørsmålene som ble brukt var utprøvd av undertegnede i tidligere års emneevalueringer, og studentene hadde disse årene vurdert spørsmålene som egnet for å få fram det studentene ønsket å tilkjennegi. Gruppene ble bedt om å svare så ærlig som mulig på alle spørsmål, og for å tilrettelegge for dette var verken undertegnede eller andre faglærere til stede i undervisningsrommet mens evalueringen pågikk. Hver studentgruppe utnevnte en sekretær som på et utlevert skjema skrev ned de

tilbakemeldingene gruppa ble enige om. Ved innlevering av skjemaene brettet hver gruppe skjemaet sitt slik at skriften ikke var synlig før de de la det i en felles boks.

For studieåret h12/v13 supplerte jeg evalueringene med samtaler med to ulike studentgrupper. Hver studentgruppe besto av fem studenter på 1. år idrett, og samtalene ble gjort etter at all undervisningen i emnet var avsluttet og da det gjensto fire dager til eksamen i emnet. Studentgruppene jeg hadde samtale med ble valgt tilfeldig ved at jeg denne dagen oppsøkte høgskolens kollokvierom med formål om slike samtaler. De to første studentgruppene jeg møtte sa begge ja til å delta. Formålet med samtalene var å få inn utfyllende studentinnspill for forhold som gjaldt evalueringene, slik at sjansen for å gjøre feiltolkninger av hva som var studentkullets mening ble lavest mulig.

#### Funn fra de individuelle evalueringene

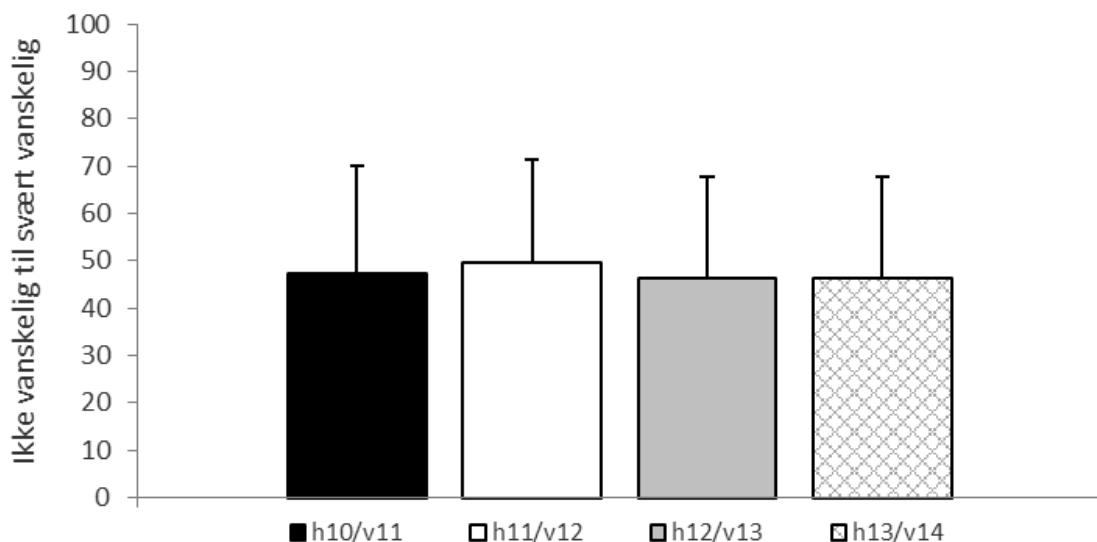
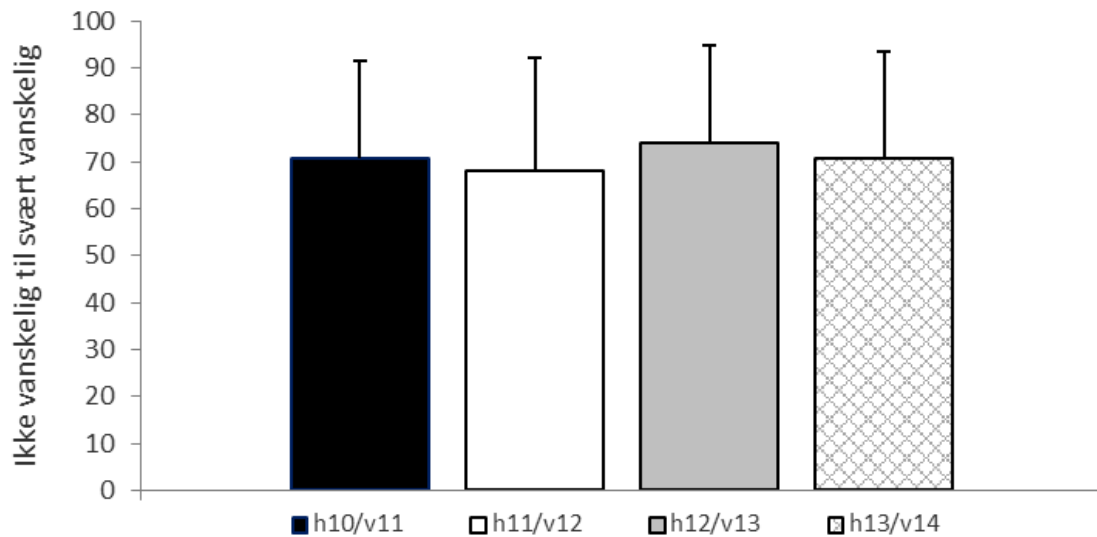
På en VAS- skala som gikk fra 0 til 100 der «0» sto for «ikke lærerikt» og 100 sto for «svært lærerikt» ble studentene bedt om å besvare hvor lærerike de syntes emnets to arbeidskrav var. I denne sammenhengen omtaler jeg kun det arbeidskravet som hadde de samme overordnede rammene alle årene. Dette arbeidskravet gikk ut på at grupper à 4-6 studenter skulle gjennomføre fire fysiske tester/ målinger som de skulle skrive en rapport på bakgrunn. For hvert år vurderte studentene arbeidskravet som stadig mer lærerikt, som illustrert i figur 1.



*Figur 1. Figuren over viser hvor lærerikt studentene syntes arbeidskrav 1 var (fire fysiske tester/ målinger som de skulle skrive en rapport på bakgrunn av). Studentenes svar er oppgitt som gjennomsnittsverdier  $\pm$  standardavvik og viser at studentene syntes arbeidskravet ble mer lærerikt for hvert år (ved sammenlikning av h10/v11 og h13/v14;  $p=0.0002$ ).*



På et av de øvrige spørsmålene ble studentene bedt om å besvare hvor vanskelig de syntes emnet Trenings- og bevegelseslære hadde vært på en VAS- skala som gikk fra 0 til 100 der «0» sto for «ikke vanskelig» og 100 sto for «svært vanskelig». Det ble skilt mellom mekanikk- delen av emnet og øvrige deler av emnet. For alle årskull vurderte studentene emnets mekanikkdel som signifikant mest vanskelig (37- 53 % høyere VAS- skala- score). Dette er illustrert i figur 2 og 3.



Figur 2 og 3. Den øverste av de to figurene (figur 2) viser hvor vanskelig studentene syntes mekanikkdelen i emnet Trenings- og bevegelseslære hadde vært, mens studentenes vurdering av vanskegrad for emnets øvrige temaer samlet er vist i den nederste figuren (figur 3). Studentenes svar er oppgitt som gjennomsnittsværdier  $\pm$  standardavvik. For alle år vurderte studentene mekanikkdelen som klart vanskeligere enn øvrige temaer samlet (alle år;  $p < 0.05$ ).

Før studiestart for kullet h11/v12 hadde undertegnede utarbeidet et mer detaljrikt dokument for emnets læringsmål enn det som ble uttrykt gjennom den 1 sider lange emneplanen. Det nye dokumentet ble kalt Læringsmåldokument og var på 4 sider. På spørsmål på en VAS-skala som gikk fra 0 til 100 der 0 symboliserte «for lite detaljert» og 100 symboliserte «for mye detaljert» ble studentene bedt om å vurdere detaljnivået i det 4 sider lange dokumentet i forhold til å være en hjelp i læringsarbeidet. Midt på VAS-skala-linja (tilsvarende 50 på skalaen) var det skrevet «passe». Studentene vurderte detaljnivået som svært nær passe både i studieåret h11/v12, h12/v13 og h13/v14, med VAS-skala score på henholdsvis  $53.6 \pm 12.0$ ,  $50.6 \pm 10.5$  og  $52.9 \pm 11$  (oppgitt som gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik).

### Funn fra gruppeevalueringen

Funnene fra gruppeevalueringene viste en noe økende studentfornøydhet for hvert år som gikk. Fra gruppeevalueringen velger jeg kun å presentere funnene fra studieåret h12/v13. Dette studieåret er valgt fordi jeg det året supplerte gruppeevalueringen med samtaler med to studentgrupper. Samtalene ble gjennomført for å sikre at jeg trakk mest mulig korrekte slutninger på bakgrunn av evalueringene. Hovedfunnet fra gruppeevalueringen studieåret h12/v13 var at studentene oppga å være fornøyd med emnet.

*For spørsmålet «Hva er bra?» ble særlig dette trukket fram:*

- Lærer var engasjert
- Det var mye praktiske demonstrasjoner der læreren demonstrerte/ viste/ forklarte med bruk av gode eksempler
- Studentene følte seg inkludert i læringsarbeidet
- Det faglige innholdet var bra

*For spørsmålet «Hva kan bli bedre?» ble særlig dette trukket fram:*

- Det kunne med fordel vært flere undervisningstimer i emnet og det kunne vært flere arbeidskrav

*For punktet «Ideer og innspill til endringer» ble særlig dette trukket fram:*

- Det hadde vært ønskelig med enklere nivå på undervisningen i mekanikk eller at det ble gitt en form for innføringstimer i matematikk/ mekanikk tidlig i studieåret (budskapet framsatt av ca 1/4 av gruppene)
- Det kunne gjerne vært enda mer bruk av videosnutter innen bevegelseslære
- Det hadde vært ønskelig med en obligatorisk individuell innlevering av arbeidskrav, slik det var i emnet idrettsbiologi, som et ekstra arbeidskrav i tillegg til de to andre (budskapet framsatt av ca 1/6 av gruppene)

*For spørsmålet «Hvordan oppleves sammenhengen mellom emnet Trenings- og bevegelseslære og emnet Basistrening, og hvordan kan eventuelt disse emnene knyttes sammen på en bedre måte?» svarte gjennomsnittsgruppene slik:*

- Sammenhengen var god og vi studenter opplevde at mye av det vi lærte i emnet Trenings- og bevegelseslære ble anvendt i en relevant kontekst i det praktiske emnet Basistrening.

### Funn fra samtalene med de to ulike studentgruppene

Forut for de to gruppesamtalene jeg gjennomførte studieåret h12/v13 hadde jeg gått grundig gjennom svarene fra den individuelle evalueringen og gruppeevalueringen. På bakgrunn av gjennomgangen hadde jeg forberedt noen spørsmål jeg anså som viktige å stille for å sikre at jeg tolket dataene på en mest mulig riktig måte. De fire spørsmålene jeg hadde forberedt er nedenfor skrevet med kursiv skrift.

*Hva ved mekanikk/ anvendt mekanikk er vanskelig?*

-Samtalegruppe i) uttrykte dette: Det virker som studenter med matematikk- bakgrunn (f.eks. de som hadde fordypning i slike emner på vg. skole) skjønner formlene, men noen ganger kan slite med å forstå helheten. For studenter som er aktive idrettsutøvere uten å ha matematikk- bakgrunn er det ofte motsatt: de skjønner helheten (f.eks. hvorfor en bestemt teknisk utførelse er hensiktsmessig), men sliter med å forstå og bruke formlene.

-Samtalegruppe ii) uttrykte dette: Manglende generell matematisk forståelse gjorde at mekanikkdelen av emnet opplevdes vanskelig. En av studentene i samtalegruppa sa: "Jeg mistet motivasjonen da jeg forsto at jeg ikke fikk bruke kalkulator til eksamen". Samtalegruppas øvrige fire studenter mente imidlertid ikke at hvorvidt studentene fikk bruke kalkulator til eksamen hadde særlig betydning for verken motivasjonen eller evnen til å løse oppgavene som ble gitt i emnet, men framholdt at hovedproblemet trolig bunnet i generell manglende matematisk forståelse.

*Hva avgjør om et arbeidskrav oppleves som lærerikt/ interessant?*

-Samtalegruppe i) uttrykte dette: Det er lærerikt med store "tenke- spørsmål". Vi synes det er fint når ressursene innad i gruppene kan nyttiggjøres gjennom diskusjoner o.l. Vi liker også når de som kan mye om et tema får brukt det de kan til å hjelpe andre i læringsarbeidet.

-Samtalegruppe ii) uttrykte dette: Det er lærerikt og interessant å være med i hele prosessen, med både datainnsamling, databearbeiding og skriving.

*Bør det være store eller små grupper for at arbeidskravene skal gi best mulig læring?*

-Samtalegruppe i) uttrykte dette: Ved arbeidskrav i store grupper blir det lett til at man deler opp arbeidsoppgavene mellom seg. Årsaken er dels praktiske hensyn, som at det er vanskelig å finne felles tid der alle gruppe-medlemmene kan møtes. Dels er også årsaken at vi synes det er vanskelig å samarbeide på en måte der alle blir like engasjerte i og får like mye læring om hele arbeidskravet dersom gruppene er store. Det typiske er at hver enkelt student tar mindre ansvar når gruppene er store.

-Samtalegruppe ii) uttrykte dette: Vår erfaring er at små gruppestørrelser oftest medfører mer læring enn store gruppestørrelser. Det har nok noe med at ens egen innsats blir mer avgjørende for sluttproduktet når gruppene er små.

*I det skriftlige individuelle spørreskjemaet krysset svært mange studenter (69 %) av for at obligatorisk individuell innlevering av arbeidsoppgaver som er lagt ut etter undervisningstimene kunne vært et godt alternativ dersom dagens arbeidskrav skulle vært byttet ut. Hvorfor tror dere så vidt mange krysset av for dette alternativet, og tror dere et slikt arbeidskrav ville vært å foretrekke framfor de dere har hatt? (Bakgrunnsinformasjon: Dette studentkullet hadde to arbeidskrav hvorav begge var gruppearbeidskrav der studentene skulle*

utarbeide et skriftlig sluttprodukt. Det første arbeidskravet var basert på data studentene selv var med å samle inn på høgskolens idrettsfysiologiske testlab, mens det andre besto av et sett oppgaver som liknet de mest omfattende oppgavene de kunne forvente å få på eksamen).

-Samtalegruppe i) uttrykte dette: Alle i gruppa mente at de to nåværende arbeidskravene i Trenings- og bevegelseslære var mer ønsket enn et individuelt arbeidskrav som skissert over. Et slikt individuelt arbeidskrav burde i så fall vært et supplement, mente de. De mente også at det trolig var de slappeste og minst selvstendige studentene som eventuelt kunne vært tjent med et arbeidskrav med individuell obligatorisk innlevering.

-Samtalegruppe ii) uttrykte dette: Alle i gruppa mente at obligatorisk individuell innlevering ville vært fordelaktig for læring, iallfall for de slappeste/ minst motiverte, siden de mente at disse da ville tvinges til å jobbe mer. To av studentene poengterte imidlertid at de egentlig syntes at alle studentene kunne forventes å gjøre de omtalte oppgavene uavhengig av om de var arbeidskrav eller oppgaver emneansvarlig anbefalte at ble arbeidet med.

#### **6.1.4 Kartlegging av studentenes kompetanse i matematikk og biomekanikk**

Kvantitative data innsamlet fra tidligere studiekull hadde vist at mange studenter opplevde mekanikkdelen av emnet Trenings- og bevegelseslære som vanskelig, og klart vanskeligere enn øvrige tema i emnet (blant annet tydeliggjort i figur 2 og 3). For å kunne beherske mekanikkstoffet er det en del grunnleggende matematiske ferdigheter som må være på plass. Dette er ferdigheter studentene har jobbet med i grunnskole og vg. skole, uavhengig av om de har valgt fordypningsfag innen matematikk eller ikke. Min erfaring fra flere års undervisning i mekanikkdelen i emnet Trenings- og bevegelseslære var likevel at mange studenter ikke hadde det ferdighetsnivået innen matematikk og mekanikk som pensum og læringsmål fra vg. skole skulle tilsi. For å få en klarst mulig oversikt over studentenes matematiske ferdighetsnivå kartla jeg ved starten av studieåret h13/ v14 hver student sitt ferdighetsnivå i den første undervisningstimen i Trenings- og bevegelseslære. Hver student fikk utdelt tre oppgaver som de skulle besvare skriftlig. Studentene fikk bra med tid på oppgavene (12 minutter), og de fikk bruke penn og papir, men ingen andre hjelpemidler. Av oppgavene var én innen prosentregning, én innen anvendt mekanikk og én innen benevninger. 68 av studiekullets 85 studenter (80 %) var til stede i timen og alle gjorde forsøk på å besvare oppgavene.

##### Funn fra de kartleggingen

Oppgave 1 lød «På Dahl skole er det 135 jenter og 115 gutter. Hvor mange % av elevene er jenter?». Kartleggingen viste at 21 % klarte å regne ut riktig tallsvar. Oppgave 2 var en enkel dreiemomentoppgave som viste et illustrerende bilde av en gutt og jente som satt på hver sin side av en vippe der det var markert at guttens og jenta tyngdepunktslinje var henholdsvis 1.5 meter og 2.0 meter fra vippas omdreiningspunkt. Det ble videre opplyst om at vi i dette eksempelet skulle anse vippa som vektløs og at gutten veide 30 kg. Spørsmålet studentene skulle besvare var «Hvor mye veier jenta?» Kartleggingen viste at 9 % klarte å regne ut riktig tallsvar. Oppgave 3 etterspurte benevninger for hastighet, akselerasjon, kraft, arbeid og effekt. Som innledning til oppgaven hadde jeg laget et eksempel som beskrev at benevningen for

masse var kg. Ved vurderingen måtte studentene enten skrive riktig fullt utskrevet benevning eller riktig forkortelse for benevning for at svaret skulle bli vurdert som riktig. Ved bruk av forkortelser vurderte jeg disse som riktige svar: hastighet: m/s eller km/t, akselerasjon:  $m/s^2$  eller  $km/h^2$ , kraft: N, arbeid: J eller Nm, effekt: W, kW eller J/s. Undersøkelsen viste at 1 % (1 av de 68 studentene) svarte riktig for alle benevningene. For enkelt- oppgavene var andelen med riktige svar for hastighet, akselerasjon, kraft, arbeid og effekt henholdsvis 74 %, 9 %, 19 %, 15 % og 32 %.

Statistikkene som jeg har fått tilgang til ved inntakskontoret til Høgskolen i Lillehammer, viser at gjennomsnittskaracteren for de studentene som har begynt på 1. år idrett ved HiL har vært omtrent identisk alle de siste studieårene (NSD 2015). I studieårene h10/v11- h12/v13 var gjennomsnittskaracteren blant studentene som startet på 1. år idrett 4.07 karakterpoeng for de som hadde søkt seg inn som bachelorstudent og 4.13 karakterpoeng for de som hadde søkt seg inn som årsstudent. Tilsvarende karakterpoeng for de som startet på 1. år bachelor idrett på studiekullet h13/v14 var 4.08 og 4.02 karakterpoeng, mens de var 4.18 og 3.94 for studiekullet på 1. år idrett h14/v15 (ibid). Det nær identiske karaktergrunlaget fra vg. skole for h13/v14- kullet sammenliknet med de tre før og det etter, gjør det rimelig å anta at resultatene fra kartleggingsprøven i matematikk og mekanikk er representative både for tidligere og kommende års studiekull.

### **6.1.5 Oppsummering, tolkninger og vurderinger**

Hovedinntrykket fra evalueringene i studieårene h10/v11- h13/v14 var at studentene var tilfreds med undervisningen for temaområdet treningslære og bevegelseslære. De kom også i liten grad med forslag til endringer, selv om dette var tilrettelagt for gjennom de åpne spørsmålene i gruppeevalueringen. Av de gruppene som kom med konkrete innspill til endringer og/ eller konkrete innspill på spørsmålet «Hva kan bli bedre?» ble det foreslått innføring av enklere undervisning i mekanikk eller innføring av undervisning i grunnleggende matematikk og mekanikk tidlig i studieåret, samt flere undervisningstimer, flere arbeidskrav og mer bruk av videosnutter i teknikk- relatert undervisning. Det førstnevnte endringsforslaget samstemte med funn fra de individuelle evalueringene, som hadde vist at studentene syntes mekanikk- delen var vanskelig, og klart vanskeligere enn øvrige tema. Dette, sammen med studentenes svake resultater på kartleggingsprøven i matematikk og grunnleggende biomekanikk i starten av studieåret h13/v14, overbeviste meg om at det måtte være fornuftig å innføre undervisningstimer i grunnleggende matematiske ferdigheter tidlig i emneforløpet.

Når det gjaldt arbeidskravene, var min tolkning at gruppe- arbeidskravet som omhandlet datainnsamling på høgskolens idrettsfysiologiske testlab hadde funnet en form og et innhold som fungerte godt og ga bra læring.

Selv om det særlig var for temaet mekanikk det syntes å være behov for endringer av innhold og undervisning, var det etter mitt syn også mulig å øke studentenes læringsutbytte for øvrige deler av temaområdet treningslære og bevegelseslære. Etter mine vurderinger var det viktigste

virkemiddelet å utarbeide en mer helhetlig og tydelig struktur. Slik jeg så det, kunne dette best utføres ved å revidere hele emnestrukturen på 1. år bachelor idrett. Dette ville gjøre det mulig å tenke nytt, ikke bare innenfor de eksisterende emner, men også for 1. år idrett som helhet.

## **6.2 Revideringsarbeid for temaområdet treningslære og bevegelseslære**

### **6.2.1 Pedagogiske grunntanker bak revideringsarbeidet**

Tidlig på høsten 2013 fattet idrettsseksjonen ved HiL vedtak om å utarbeide en ny emnestruktur for 1. år bachelor idrett som skulle gjøres gjeldende f.o.m. studieåret h14/v15. I seksjonen var det enighet om at det klare naturvitenskapelige fokuset på 1. år av bachelor idrett skulle opprettholdes og at en mest mulig hensiktsmessig oppbygning i forhold til emner på 2. og 3. år bachelor idrett skulle ivaretas. Det var enighet om at de tre i seksjonen med ansvar for emner på 1. år bachelor idrett (Marit Roland Udnæs, Håvard Nygaard og undertegnede) skulle være ansvarlige for framdriften innen sine emneansvarsområder. Som del av prosessen inviterte vi Studieutvalg for idrett (dvs tillitsvalgte studenter og alle fagansatte ved seksjon for idrettsfag) til å komme med innspill. Studieutvalget mente, som oss, at det var viktig å bygge opp alle emneplanene etter en felles mal. Som en følge av dette ble det bestemt at målene i alle emneplanene skulle formuleres som minimumskvalifikasjoner for å bestå emnet. I tillegg til Studieutvalgets innspill hadde jeg også noen selvstendige tanker jeg ønsket skulle være styrende for utformingen av mine emneansvarsområder. Tankene mine var basert både på hva pedagogisk forskning har funnet at kjennetegner gode læringssituasjoner, og på egne erfaringer om hvordan det kan tilrettelegges for at studentene skal lære mest mulig.

Mine overordnede pedagogiske tanker er i stor grad inspirert av Ralph Tylers syn på hvordan man bør tilrettelegge for læring. Tyler la vekt på at læringsmålene skulle formuleres først og at innhold, læringsmetoder og vurderinger skulle organiseres ut fra læringsmålene (Tyler 1949). Han vektla videre at læringen burde være kjennetegnet av systematisk progresjon og være integrert i en helhet. Med systematisk progresjon mente Tyler at lærestoffet skulle passe i forhold til innholdsrekkefølge og de lærendes faglige nivå, mens han med integrering mente at det skal tilrettelegges for at de lærende erfarer hvordan lærestoffet kan anvendes i en større sammenheng (ibid). Tylers syn støttes av Jerome Bruner som mener det er avgjørende viktig at den brede fundamentale struktur innen et vitenskapsområde blir tydeliggjort i undervisningen. I følge Bruner er dette essensielt både for å kunne generalisere ut fra det man har lært, for å kunne utvikle dypere forståelse og for å kunne huske detaljer man har lært over tid (Bruner 2006).

I arbeidet med å bygge opp lærerike emner er jeg også opptatt av å tilrettelegge for at studentenes motivasjon knyttet til læringsarbeidet skal være høyest mulig. Biggs & Tang 2007 trekker fram følgende to faktorer som særlig viktige for studentenes læringsmotivasjon:

- 1) Det som skal læres må oppleves som viktig/ ha verdi for den lærende.
- 2) Den lærende trenger å forvente suksess ved å engasjere seg i læringsarbeidet.

Læreren/ pedagogen har stor mulighet til å påvirke begge faktorene ovenfor. Den første faktoren kan bl.a. påvirkes ved at pedagogen jobber med å skape mening og sammenheng i situasjoner som fra starten ikke innehar dette (Schön 1983). Den andre faktoren til Biggs & Tang bygger på sosial- kognitiv teori (Bandura 1997) og framhever viktigheten av mestringstro for å yte helhjertet innsats og derigjennom øke læringen. Utover de nevnte forhold er jeg opptatt av at studentene skal oppleve at det stilles høye forventninger til dem. At en kombinasjon av høye og realistiske forventninger synes å være positivt for læring, har bred støtte innen pedagogisk forskning (Rosenthal & Jacobsen 1992; Marzano et al 2003).

Oppsummerende sagt ønsket jeg at det faglig- pedagogiske arbeidet innen temaområdet treningslære og bevegelseslære på 1. år bachelor idrett skulle kjennetegnes ved:

- tydelige læringsmål som studentene opplevde som høye og samtidig realistiske å oppnå
- gjennomtenkt progresjon
- meningsfull læring, både kognitivt og affektivt

Slik jeg så det kunne det være uheldig for studentenes læringsmotivasjon at jeg planla læringsarbeidet/ undervisningen ut fra forhåndsbestemte læringsmål. Det jeg særlig fryktet var at det skulle lede studentene inn i en passiv mottakerrolle. En slik rolle viser seg å være forbundet med både lavere læring og læringsmotivasjon enn en mer aktiv rolle (Vygotsky 1978; Portrac & Cassidy 2006). For å unngå at studentene tilegnet seg passive roller la jeg vekt på at emnets læringsmål skulle framstå som tydelige for studentene uten at alle detaljer knyttet til framgangsmåte og eksempelvalg var forutbestemt. For teoritimene kom dette til uttrykk ved at undervisningen i tillegg til den faglige gjennomgangen innehadde dialoger der jeg prøvde å bringe fram problemstillinger studentene opplevde som særlig meningsfulle og interessante. I praktiske undervisningstimer kom tilsvarende til uttrykk ved at studentene ofte fikk åpne praktiske oppgaver som kunne løses på ulike måter. Utenom undervisningen ga jeg studentene arbeidsoppgaver jeg anbefalte dem å jobbe med i grupper. Her kom mine pedagogiske idealer til uttrykk ved at jeg i større grad formulerte oppgaver som etterspurte refleksjon enn kunnskapsgjengivelse og at jeg ofte tilrettela for at studentene skulle prøve ut bevegelsesoppgaver der de måtte anvende relevant teoristoff.

### **6.2.2 Utforming av emnestrukturen for h14/v15**

Emnestrukturen for 1. år bachelor idrett i årene h14/v15 skilte seg betydelig fra strukturen for de forutgående årene. Emnet Idrett, individ og samfunn ble redusert til 10 studiepoeng som følge av at det teoretiske delemnet Aktivitetspedagogikk ble skilt ut som et eget emne. Aktivitetspedagogikk ble nært linket opp til det nye emnet Aktivitetslære som omhandlet didaktikk og innlæringsmetodikk i praktiske idrettsaktiviteter. Innholdsmessig ble emneplanene for Aktivitetspedagogikk og Aktivitetslære justert slik at de tilrettela for mer sosial interaksjon mellom studentene sammenliknet med tidligere års innhold i tilsvarende emner. Tanken bak var å tilrettelegge for at det skulle utvikle seg en sterkere fellesskapsfølelse blant studentene. For læringsmiljø og trivsel blant studentene anså alle vi tre med ansvar for emnestrukturarbeidet på 1. år bachelor idrett det som særlig viktig å tilrettelegge for høy sosial interaksjon i starten av studieåret. Derfor valgte vi å lage en

emnestruktur der nettopp disse emnene var de første studentene møtte. Noen uker lenger ut i semesteret startet også undervisningen i emnet Arbeidsfysiologi. Arbeidsfysiologi var en innholdsmessig nedjustert utgave av det tidligere emnet Idrettsbiologi (reduisert fra 15 til 10 studiepoeng). Reduksjonen gjorde at temaområdet trenings- og bevegelseslære kunne økes fra 20 til 25 studiepoeng. Temaområdet hadde de tidligere årene vært organisert i det teoretiske emnet Trenings- og bevegelseslære (15 sp) og det praktiske delemnet Basistrening (5 sp). Strukturmessig hadde delemnet Basistrening vært plassert under emnet Idrettsaktiviteter. Temaområdet trenings- og bevegelseslære ble studieåret h14/v15 organisert i emnene Anatomi & bevegelseslære (15 sp) og Treningslære (10 sp). Hvert av disse to nye emnene besto av både teoretiske og praktiske timer. Omstruktureringen gjorde at temaområdet ble ryddigere organisert og at det kunne utarbeides mer entydige emneplaner. Det økte studiepoengomfanget for temaområdet gjorde det i tillegg lettere å tenke nytt i forhold til omfang, dybde og arbeidsmåter.

*Tabell 2. Tabellen under viser emnestrukturen på 1. år bachelor idrett for studieåret h14/v15*

Emnenavn	Studiepoeng		
	Totalt	Høstsemester	Vårsemester
Aktivitetspedagogikk	5	5	
Arbeidsfysiologi	10	10	
Anatomi & bevegelseslære	15	15	
Aktivitetlære	10		10
Idrett, individ og samfunn	10		10
Treningslære	10		10

### **6.2.3 Utforming av emneplaner og læringsutbyttetmål**

«Forskrift om tilsyn med utdanningskvaliteten i høyere utdanning» (Lovdata 2013) legger en del klare føringer for hvordan høyskole- og universitetsstudier skal være bygget opp og hvordan oppbygningen skal kommuniseres. I merknadene til paragraf 7-2 (ibid) framgår det at det skal lages læringsutbyttetmål for hvert emne. I mine første skisser til emneplaner for Anatomi & bevegelseslære og Treningslære for studieåret h14/v15 forsøkte jeg å definere mål for både kunnskap, ferdigheter og generell kompetanse. For begge emnene fant jeg det imidlertid vanskelig å unngå at målene for generell kompetanse omfattet en del av innholdet til kunnskaps- og ferdighetsmålene. Overlappingen gjorde at emneplanene ikke kommuniserte emnenes mål på en så ryddig måte som jeg ønsket. Det gjorde dem lite egnet som grunnlag for utarbeiding av mer detaljerte dokument for emnenes mål og innhold. Andre kolleger på seksjonen gjorde tilsvarende erfaringer i arbeidet med å utforme læringsutbyttetmål for sine emner. Etter seksjonens vurdering stiller paragraf 7-2 som det er referert til ovenfor, krav til at det for hvert enkelt studieår skal tydeliggjøres et totalt læringsutbytte for kunnskap, ferdigheter og generell kompetanse. Seksjonen anså det imidlertid ikke som noe krav at det skulle defineres læringsutbyttetmål for hvert av de tre kompetanseområdene for alle



enkeltemner. Seksjonen besluttet at alle emneplaner skulle definere læringsutbyttmål for kunnskap og ferdighet mens det skulle være valgfritt om man i tillegg formulerte læringsutbyttmål for generell kompetanse. Seksjonene bestemte også at læringsutbyttmålene skulle formuleres som minimumskvalifikasjoner for å bestå emnet. Dette hadde noen klare fordeler. Bl.a. ble emneplanene da et nyttig verktøy ved avgjøring av om faglig svake eksamensbesvarelser kvalifiserte til bestått eller ikke bestått karakter og når studenter med årsenhet idrett fra andre utdanningsinstitusjoner skulle vurderes med tanke på opptak til 2. år bachelor idrett ved HiL. Dessuten medførte det at emneplanene var anvendelige ved vurderinger av søknader om fritak fra hele eller deler av emner.

Som emneansvarlig for Anatomi & bevegelseslære og Treningslære var det jeg som hadde ansvaret for å utforme emneplaner for disse to emnene. Jeg la vekt på å utforme emneplaner som i minst mulig grad hadde overlappende mål. Som en konsekvens av dette endte jeg opp med å utforme emneplaner som inneholdt mål for kunnskap og ferdighet, men ikke for generell kompetanse. Både emneplanen for Anatomi & bevegelseslære og for Treningslære hadde relativt åpne målformuleringer. Dette var et bevisst valg og begrunnet i mitt ønske om at emneplanene ikke skulle være så detaljerte at de kunne innskrenke det pedagogiske arbeidet mht. f.eks. arbeidsmetoder. Jeg ønsket også å utforme relativt åpne mål i emneplanene for å signalisere at emnet skulle være studentsentrert og ha rom for å kunne ta hensyn til studentinnspill. I arbeidet med emneplanene hadde seksjonen dessuten blitt enige om at emneplanene skulle formuleres med et visst handlingsrom for de involverte faglærerne, slik at de kunne gjøre faglige og pedagogiske tilpasninger uten at dette gikk på tvers av emnebeskrivelsenes innhold. Disse grepene gjorde at emneplanene kunne holdes uforandret i flere påfølgende år, samtidig med at emner hele tiden kunne være i utvikling og oppdatert i forhold til nye forskningsfunn. Emneplaner som blir holdt uforandret flere påfølgende år gjør det dessuten enklere å la studenter fra tidligere årskull gå opp til eksamen. Dette er relevant ettersom det hvert år er studenter fra tidligere årskull som melder seg opp til eksamen fordi de enten strøk på tidligere eksamensforsøk, ønsker å prøve å forbedre eksamenskarakteren eller fordi de ikke har fått gå opp til eksamen tidligere pga. ikke godkjente arbeidskrav eller manglende oppmøte i obligatoriske timer.

#### **6.2.4 Utforming av Læringsmåldokument (operasjonaliserte læringsutbyttmål)**

Både for emnet Anatomi & bevegelseslære og Treningslære var emneplanene utformet slik at målene for kunnskap og ferdighet var dekkende for hele emnene og formuleringene representerte minimumskrav for å få bestått emnet. Ved at emneplanen beskrev minimumskvalifikasjoner for å bestå emnet, var emneplanenes faglige ambisitet nødvendigvis begrenset. Slik jeg så det kunne dette medføre at studentene oppfattet de faglige forventningene til dem som lave. Som jeg tidligere har omtalt bør de lærende ikke oppleve at det stilles lave forventninger til dem, men tvert imot høye- såfremt de lærende oppfatter målene som mulige å oppnå (Rosenthal & Jacobsen 1992; Marzano et al 2003; Banduras 1997). Den beste måten å sikre en ryddig oppbygning av emnene var imidlertid, slik jeg så det, å ta utgangspunkt i emneplanmålene. Løsningen min ble å ta for meg hvert

læringsutbyttmål og for hvert av dem utforme et antall konkretiseringer som samlet uttrykte en høyere faglig ambisjon enn læringsutbyttmålene (vedlegg 2). Samtidig som konkretiseringene formidlet relativt høye faglig forventninger til studentene, var de også nyttige både for studentene og emnets undervisere ved at emnenes innhold ble mer detaljert beskrevet og ved at konkretiseringene i stor grad kunne brukes som disposisjon for undervisningen. Samtidig var ikke konkretiseringene formelt bindende siden det er emneplanene som utgjør den offisielle kontrakten mellom student og lærested. Konkretiseringene kunne dermed, dersom emneansvarlig eller øvrige faglærere ønsket det, justeres fra år til år. For eksempel kunne det gjøres endringer for faglige og pedagogiske tilnæringsmåter uten at det skapte vanskeligheter i forhold til å la studenter fra tidligere årskull gå opp til eksamen.

## **6.3 Emnet Anatomi & bevegelseslære studieåret h14/v15**

### **6.3.1 Emneoppbygning**

Emneplanen for Anatomi & bevegelseslære hadde to hovedtyper av læringsutbyttmål: kunnskapsmål og ferdighetsmål. Kunnskapsmålene var utarbeidet slik at det i undervisningen i så stor grad som mulig kunne fokuseres på ett kunnskapsmål om gangen. Utformingen gjorde dem egnet til å skape struktur i læringsarbeidet, og jeg valgte å bruke kunnskapsmålene som disposisjon for læringsarbeidet/ undervisningen i emnet. Basert på kunnskapsmålene, som nedenfor er gjengitt med strekpunkter, ble emnets undervisning/ læringsarbeid delt opp i fem bolker:

- Kunne vurdere tekniske bevegelsesløsninger i idrett ut fra biomekaniske betraktninger (bolk 1 og 5)
- Ha grunnleggende kunnskap om muskel- skjelettsystemets oppbygning og funksjon, med særlig fokus på bevegelser (bolk 2)
- Kjenne utspring, feste og funksjon for kroppens sentrale muskler (bolk 3)
- Kunne beskrive muskelkontraksjonsprosessen og ha innsikt i forhold som bestemmer musklers evne til kraftutvikling (bolk 4)

De to ferdighetsmålene innen emnet var av mer gjennomgripende karakter og var med å tydeliggjøre helheten i emnet. Ferdighetsmålene lød:

- Ha erfaring med å gjennomføre idrettsfysiologiske tester, og kunne tolke og bearbeide data (særlig knyttet til bolke 4)
- Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster (knyttet til alle bolker)

Det førstnevnte kunnskapsmålet skiller seg fra de øvrige ved at det favner om både biologiske og mekaniske forhold. I tillegg stiller det krav til høy mål- taksonomisk kompetanse. Dette gjør at målet er egnet til å fokuseres på i siste del av emnets læringsarbeid. Målet er samtidig det eneste kunnskapsmålet som omhandler mekaniske forhold. Siden erfaringer fra tidligere

studieår har tydeliggjort at mange studenter sliter med manglende kompetanse innen matematikk og mekanikk når de starter på 1. år bachelor idrett, vurderer jeg det som formålstjenlig å arbeide med grunnleggende ferdigheter innen matematikk og mekanikk tidlig i semesteret. Det førstnevnte kunnskapsmålet ble derfor arbeidet med i to bolker, én i starten og en i slutten av emnet (henholdsvis bolk 1 og 5).

### **6.3.2 Gjennomføringen av emnet**

Nedenfor beskriver jeg innholdet i hver av bolkene. For alle bolkene ble teoriundervisningen gitt samlet for hele kullet 100 studenter mens studentene var delt i 5 grupper à 20 studenter i de praktiske undervisningstimene. Nedenfor beskrives undervisningsomfanget som det antall undervisningstimer som ble gitt hver student.

#### Bolk 1

Bolk 1 omhandlet deler av det målet fra emneplanen som lød «kunne vurdere tekniske bevegelsesløsninger i idrett ut fra biomekaniske betraktninger». Bolken hadde som mål å utvikle studentenes kompetanse i matematikk og grunnleggende biomekanikk og dekke disse punktene fra Læringsmåldokumentet: «Kunne de grunnleggende ferdighetene for matematiske operasjoner» og «Ha innsikt i momentarmforhold», med tilhørende konkretiseringer. Faren med å innføre en slik bolk var, slik jeg så det, at studentene skulle oppfatte innholdet som distansert fra emnets primære fokus og at det kunne være vanskelig å motivere studentene til god arbeidsinnsats. For å gjøre stoffet meningsfullt å jobbe med, la jeg vekt på å anvende eksempler fra idrett samt å peke på hvordan bolken dannet et fundament for de kommende bolkene. Ved planleggingen av bolken vurderte jeg å sette sammen et kompendium ved å klippe og lime fra lærebøker og artikler, men innså raskt at jeg ikke ville kunne sette sammen stoffet i en ønsket kontekst med en slik framgangsmåte. I stedet utarbeidet jeg selv et kompendium. I undervisningen inkluderte jeg i tillegg enkelte egenproduserte filmsnutter som omhandlet kompendieinnholdet. Undervisningen i bolken besto av fire dobbelttimer med teoriundervisning og ingen praktiske timer. Selv om utvikling av studentenes kompetanse innen matematikk og mekanikk var det primære målet med bolken, inkluderte jeg også grunnleggende biomekanikk og sannsynlighetsregning. Jeg lot grunnleggende biomekanikk inngå for lettere å kunne knytte stoffet til eksempler fra idrett, mens jeg lot sannsynlighetsregning inngå for å kunne knytte matematiske ferdigheter til forskningsbasert undervisning, noe som er særlig sentralt i forhold til ferdighetsmål nummer to.

Mot slutten av bolk 1 ble studentene gitt et individuelt arbeidskrav om grunnleggende biomekanikk (arbeidskrav nr. 1 i emnet). Arbeidskravet besto av 20 oppgaver der svarene på oppgavene skulle leveres gjennom avkryssninger i et multippel choice- skjema på den digitale læringsplattformen Fronter. For hver oppgave var det listet opp fire svaralternativer, hvorav kun ett var riktig. Hver student leverte arbeidskravet sitt ved å logge seg inn på Fronter og krysse av for sine svaralternativer. For å få arbeidskravet godkjent måtte studentene svare riktig på minst 80 % av oppgavene. Arbeidskravet besto av oppgaver innenfor de samme tema som var gjennomgått i undervisningen i bolk 1. Studenter som fikk mindre enn 80 % riktige

svar, fikk en ny sjanse til å få arbeidskravet godkjent gjennom et «konte- arbeidskrav» senere i semesteret. Begrunnelsen for arbeidskravet var å stimulere studentene til høy arbeidsinnsats og derigjennom øke deres læringsutbytte. Oppgaver med multippel- choice ble valgt siden arbeidskravet dermed rettes automatisk slik at lærerens tidsressurser kan prioriteres på annen måte.

### Bolk 2

Bolken omhandlet målet fra emneplanen som lød «Ha grunnleggende kunnskap om muskel-skjelettsystemets oppbygning og funksjon, med særlig fokus på bevegelser». Innholdsmessig var dette emnets minste bolke med kun én tilhørende dobbeltime med teoriundervisning og ingen praktiske timer. Begrunnelsen for at bolken hadde så vidt lite undervisning knyttet til seg, var dels det begrensede faglige omfanget for bolken og dels at dens faglige innhold var konkret og relativt lett forståelig slik at studentene hadde gode forutsetninger for å lære stoffet ved andre læringsformer enn gjennom undervisning. I undervisningen valgte jeg å ha et særlig fokus på følgende punkter fra Læringsmåldokumentet: «Kunne beskrive bevegelser og bevegelsesretninger ved bruk av latinske begrep»; «Kunne beskrive bevegelser i de tre planene» (horisontal-, frontal- og sagittalplanet) og «Kunne anvende muskelfunksjonsnavn» (ledd og funksjon, f.eks. hofteflektor, hofteekstensor, hofteabduktor, hofteadduktor). Jeg valgte å fokusere på disse punktene siden de gir studentene en aktiv rolle der de må anvende ulike kunnskaper i en sammenheng, samt fordi punktene danner et viktig grunnlag for den etterfølgende undervisningsbolken. Bolken hadde ikke noen arbeidskrav som var direkte knyttet til seg, men punktene som ble særlig fokusert i undervisningen dannet et viktig grunnlag for den etterfølgende undervisningsbolken og det dertil tilhørende arbeidskravet.

### Bolk 3

Bolken omhandlet målet fra emneplanen som lød «Kjenne utspring, feste og funksjon for kroppens sentrale muskler». Bolken var kjennetegnet ved at studentene skulle lære seg utspring og feste for kroppens viktigste muskler og anvende denne kunnskapen til å forstå hvilke bevegelser de ulike musklene medvirket til. Undervisningen i bolken besto av tre dobbeltimer med teoriundervisning og fem dobbeltimer obligatorisk praktisk undervisning. I undervisningen tydeliggjorde jeg at selv om musklers utspring og feste ble gjennomgått i teoriundervisningen, måtte studentene regne med at detaljfokusert kunnskap knyttet til å huske utspring og feste måtte tilegnes gjennom iherdig arbeidsinnsats utenom undervisningen. I teoriundervisningen var hovedfokuset på forståelsen av hva slags bevegelser de ulike musklene kunne utføre. I undervisningen ble det særlig prioritert å bruke tid på muskler som kunne ha ulik funksjon som følge av å gå over mer enn ett ledd eller som følge av ulike utgangsposisjoner for involverte ledd.

De praktiske obligatoriske undervisningstimer besto av én dobbeltime med fokus på muskelbruk ved henholdsvis styrkeøvelser for overekstremiteten, underekstremiteten og buk/ryggstrekkere samt av to dobbeltimer med slyngetreningsøvelser. Slyngetreningsøvelsene var de eneste av emnets undervisningstimer som ikke ble holdt av undertegnede. Hver praktisk

dobbelttime ble gitt i løpet av de første timene etter at tilsvarende tema var blitt gjennomgått i teoritimene. Teoriundervisningen inkluderte bruk av egenproduserte filmsnutter (bl.a. filmsnutt om EMG- elektroder plassert på ulike muskler for å måle muskelaktivitet ved ulike styrketreningsøvelser og ved ulike ytre belastninger).

Til sist i bolk 3 ble det gjennomført et arbeidskrav (arbeidskrav nr. 2 i emnet). Dette var en individuell praktisk prøve om muskelbruk og teknikk i styrketreningsøvelser. Ca to uker før gjennomføringen av arbeidskravet hadde studentene fått oppgitt seks styrketreningsøvelser som de måtte tilegne seg innsikt og ferdighet i. De fikk også opplyst at de ved gjennomføringen av arbeidskravet skulle trekke en lapp med et av øvelsesnavnene for deretter umiddelbart å gå i gang med å vise tilfredsstillende teknikk i og teoretisk kunnskap om øvelsen. På forhånd hadde de fått vite at den teoretiske kunnskapen dreide seg om å kunne beskrive muskelbruken i øvelsen samt hvordan muskelbruken ble påvirket av ulike tekniske justeringer av øvelsen. Øvelsene studentene kunne trekke var knebøy, markløft, utfall, benkpress, sittende roing og nedtrekk foran med pronert grep.

#### Bolk 4

Bolken omhandlet målet fra emneplanen som lød «Kunne beskrive muskelkontraksjonsprosessen og ha innsikt i forhold som bestemmer musklers evne til kraftutvikling». Undervisningen i bolken besto av tre dobbelttimer med teoriundervisning samt én dobbelttime med obligatorisk praktisk undervisning. Bolken var nært knyttet opp til begge ferdighetsmålene («Ha erfaring med å gjennomføre idrettsfysiologiske tester, og kunne tolke og bearbeide data» og «Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster»). Teoriundervisningen var i hovedsak lagt opp som forelesning. I tillegg presenterte jeg en del idrettsfysiologiske data som var samlet inn av studenter på tidligere årskull. Jeg lot studentene få mulighet til å diskutere funnene i smågrupper før vi sammen gikk gjennom funnene ved bruk av en dialogpreget undervisningsform.

Den praktiske dobbelttimen hver student var med på, var en innsamling av idrettsfysiologiske data. Datainnsamlingen skjedde i små grupper à ca fem studenter. Studentene var selv sentrale i datainnsamlingen, med meg som veileder. Studentene skulle levere et skriftlig gruppearbeidskrav (arbeidskrav nr. 3 i emnet) basert på funnene sine. I datainnsamlingen ble det forsøkt å samle inn data på en mest mulig objektiv måte, men der objektivitet vanskelig lot seg forene med å optimalisere studentenes læring ble læringen prioritert.

Datainnsamlingen omfattet fem tester. I den ene testen ble evne til isokinetisk kraftutvikling ved ulike vinkelhastigheter testet og i arbeidskravsinnleveringen skulle studentene diskutere funnene i lys av teori om muskelfysiologi. I den andre testen ble det gjennomført en styrkeøvelse der studentene skulle beregne kraftutvikling i en muskelgruppe basert på måling av ytre dreiemoment og den aktuelle muskulaturs momentarmlengde. I den tredje testen ble det gjennomført en styrketreningsøvelse som ble utført på to ulike måter med tilhørende forskjellige kraftretninger og momentarmlengder. For den testen skulle studentene bruke kunnskaper i matematikk og biomekanikk til å estimere kraftutvikling i relevante

muskelgrupper. I den fjerde testen ble det utført målinger av overflate-EMG for to styrketreningsøvelser. Den ene øvelsen ble utført med to forskjellige tekniske utførelser som medførte forskjellige kraftretninger og momentarmer. For denne testen skulle studentene vurdere om det var samsvar mellom den muskelaktiveringen studentene estimerte på bakgrunn av kraftretninger og momentarmer og den faktiske muskelaktiveringen. I den femte testen ble evne til maksimal hopp høyde undersøkt ved to ulike hoppvarianter på en kraftplattform. For denne testen skulle studentene diskutere forskjellene i oppnådd hopp høyde ut fra relevant muskelfysiologi. I arbeidskravets retningslinjer var det tydeliggjort at alle gruppe-medlemmene skulle jobbe mest mulig samlet om hver oppgave samt at de skulle bidra tilnærmet likt. I retningslinjene ble det dessuten presisert at det skriftlige sluttproduktet skulle ha henvisninger til idrettsfysiologiske forskningsartikler.

### Bolk 5

Undervisningen i bolken besto av åtte dobbelttimer med teoriundervisning og tre dobbelttimer med praktisk obligatorisk undervisning. To av dobbelttimene omhandlet hvordan kravene til muskelkraft i styrketreningsøvelser endret seg avhengig av kraftretninger og akselerasjonsnivå. I forhold til bolk 1 rommet bolk 5 et tydeligere sett med tilnærminger for å vurdere hensiktsmessig teknisk utførelse i idrett. For å tilrettelegge for best mulig dybdeløring valgte jeg å ha med kun de mest sentrale deltemaene fra mekanikk. Foruten momentarm lengder, kraft og kraftretninger inkluderte jeg også deltemaene trykk, energibetraktninger, arbeid, effekt, delpinn, spinn og luftstrømninger. Gjennom mange års erfaring med undervisning i fagområdet, har jeg erfart at dette utgjør et nødvendig og samtidig tilstrekkelig temaomfang for å kunne gjøre faglig gode vurderinger av hensiktsmessig teknisk utførelse i idrett. Bolkens teoriundervisning besto dels av lærerledet mekanikk- gjennomgang, dels av oppgaveløsning og dels av lærerledet gjennomgang av hensiktsmessig teknikk basert på en kombinasjon av mekaniske og organiske forhold. De to siste teoritimene i bolken besto utelukkende av analyse av bevegelser. Jeg valgte da å ta for meg teknikkanalyse av sykling i den ene dobbelttimen og teknikkanalyse av maksimalhastighetsfasen i løp i den andre dobbelttimen. Teknikkene ble valgt både på grunnlag av egen kompetanse og fordi de tematiserte sentrale mekaniske og organiske forhold for andre teknikker. Gjennomgangen av sykling og løp var således egnet til å hjelpe studentene i arbeidet med et arbeidskrav de skulle gjennomføre på slutten av bolken. Gjennomgangen av sykkelteknikk- analysen var i stor grad basert på funn fra forskningsartikkelen "Cyclists' improvement of pedaling efficacy and performance after heavy strength training", som jeg sammen med kolleger publiserte i 2012. Sykkelteknikk- analysen var i tillegg basert på annen forskningslitteratur jeg satte meg inn i i arbeidet med artikkelen. Gjennomgangen av løpsteknikk- analysen var basert på mine kunnskaper om løpsteknikk som aktiv utøver og trener, samt på forskningslitteratur om temaet. Ved gjennomgangen av løpsteknikk- analysen anvendte jeg et egenutarbeidet analyseskjema for løpsteknikk. Skjemaet var basert på både forskningslitteratur om emnet og egne vurderinger. Undervisningen om løpsteknikk var også basert på filmopptak jeg gjorde av studentene i en av bolkens tre praktiske dobbelttimer. Foruten en praktisk dobbeltime om løpsteknikk inkluderte bolk 5 også en praktisk time som fokuserte på arbeidsvei, spinn og delpinn samt

på en dobbeltime der grupper à ca 5 studenter skulle filme en selvvalgt teknikk de så skulle presentere for resten av klassen som et gruppearbeidskrav (arbeidskrav nummer 4). For gruppearbeidskravet ble studentene oppfordret til å velge en begrenset fase av teknikken, typisk med varighet 0,2- 0,4 sekunder. I framføringen skulle de også ha en kort powerpoint-presentasjon. Undertegnede tanke bak powerpoint-presentasjonen var at den skulle bidra til struktur og dybde i gruppeframføringen.

### **6.3.3 Utvikling av faglig- pedagogiske ressurser**

#### Utvikling av kompendium for bolk 1

Det eksisterte ingen litteratur som etter min vurdering egnet seg til bruk som pensum for bolk 1 (bolken som hadde som mål å utvikle studentenes kompetanse i matematikk og biomekanikk). Jeg valgte å utvikle et kompendium selv og lot det omhandle temaene oppløsning av parenteser, løsning av likninger, formelregning, trigonometri, dreiemomentbetraktninger, grunnleggende sannsynlighetsregning og sannsynlighetsregning brukt i forskningsartikler (vedlegg 3).

For hvert tema formulerte jeg det viktigste budskapet i en mest mulig lettfattelig tekst før jeg illustrerte tekstens hovedbudskap gjennom konkrete eksempler. For å gjøre fagstoffet mest mulig relevant og meningsfullt for studentene, brukte jeg i så stor grad som mulig eksempler fra idrett. Rekkefølgen på de matematiske temaene ble valgt slik at de enkleste og mest grunnleggende temaene ble presentert tidlig i kompendiet. Senere i kompendiet forsøkte jeg i størst mulig grad å integrere det allerede gjennomgåtte innholdet i presentasjonen av det nye. De mest avanserte og sammensatte temaene ble presentert sist. Pensumkompendiet ble skrevet så kortfattet som mulig i forhold til det formålet bolk 1 skulle ha: å heve studentenes kompetanse i matematiske grunnferdigheter og i biomekanikk slik at bolk 5 (å kunne vurdere tekniske bevegelsesløsninger i idrett ut fra biomekaniske betraktninger) kunne fokusere på bolkens ordlyd og i minst mulig grad beskjefte seg med matematiske grunnregler.

#### Sammenfatning av data fra arbeidskravsoppgaver

For enkelte fysiologiske målinger studentene har gjennomført på 1. år bachelor idrett, har de rapportert verdiene sine til meg. Ved slike tilfeller har verdiene alltid blitt gitt i anonymisert form. Jeg har deretter bearbeidet dataene og brukt dem i undervisningen for inneværende eller kommende års studiekull. Gjennom dette har jeg søkt å gjøre undervisningen mest mulig forskningsnær og interessant og lærerik for studentene. I undervisningen har jeg blant annet bearbeidet og anvendt studentdata for isokinetisk kraftutvikling ved ulike vinkelhastigheter i styrkeøvelsene kneekstensjon og knefleksjon og bearbeidet og anvendt studentdata som viser betydningen arbeidsvei og type muskelarbeid har for eksplosiv styrkeprestasjon. Jeg har også anvendt data fra de to nevnte eksemplene i eksamensoppgaver (vedlegg 4).

### Utvikling av videosnutter

I undervisningen i studieåret h14/v15 brukte jeg fire egenlagde videosnutter. Alle disse fokuserte på et avgrenset faglig tema og hadde en varighet på 1- 5 minutter. Den første videoen ble anvendt i undervisningsbolk 1 og omhandlet temaet dreiemoment. Den neste videoen ble anvendt i undervisningsbolk 3 og viste muskelaktivitet ved ulike styrketreningsøvelser ved at det under øvelsene ble målt overflate- EMG. De to siste videoene ble anvendt i undervisningsbolk 5. Den ene av disse var utformet som en fag- oppgave der studentene fikk se fire satsvarianter utført på kraftplattform og som studentene skulle koble mot riktige kraft/tid- kurver. Den andre viste opptak av studentene under maksimalhastighetsfasen i løp. Løps- opptakene fungerte som utgangspunkt for undervisning om biomekaniske betraktninger samtidig som de tydeliggjorde sentrale tekniske moment i maksimalhastighetsfasen i sprintløp. Formålet med de egenlagde videosnuttene var å gjøre undervisningen mest mulig interessant og lærerik for studentene samt å gi dem innblikk i et utvalg metoder som brukes i forskning innen biomekanikk. Videoene hadde også en relasjon til mine forskningsarbeid ved at de viste metoder som ble anvendt i følgende to artikkelutkast som jeg presenterer senere i dokumentet: «Short- term performance peaking in an elite cross-country mountain biker» (Mujika et al, det første av de to artikkelutkastene) og «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» (Vegge et al, det andre av de to artikkelutkastene).

## **6.4 Emnet Treningslære studieåret h14/v15**

### **6.4.1 Emneoppbygning**

I likhet med emneplanen for Anatomi & bevegelseslære hadde også emneplanen for Treningslære to hovedtyper av mål: kunnskapsmål og ferdighetsmål. Kunnskapsmålene var utformet slik at de egnet seg for å skape struktur i læringsarbeidet, og jeg brukte disse som disposisjon for emnets læringsarbeid/ undervisning. Emnet hadde fire kunnskapsmål. To av dem var tydelig avgrenset både fra hverandre og de øvrige og ble derfor undervist i egne bolker. De to gjenstående kunnskapsmålene omhandlet tema som sto innholdsmessig nær hverandre. Det passet derfor godt at disse to kunnskapsmålene ble undervist i samme undervisningsbolk. Bolken omhandlet seks treningstyper samt oppvarming. Strukturmessig passet det derfor å dele denne bolken inn i syv underbolker.

Med utgangspunkt i kunnskapsmålene ble emnets undervisning/ læringsarbeid delt opp slik:

- Kjenne generelle prinsipper og metoder innen treningsplanlegging (bolk 1)
- Ha oversikt over generelle tiltak for å forebygge og behandle idrettsskader (bolk 2)
- Ha oversikt over organiske egenskaper som er særlig viktige for prestasjonen i ulike typer idretter, samt Kunne beskrive kroppens respons på ulike typer trening og kunne anvende kunnskapen ved planlegging av trening (bolk 3).



Emnets tre ferdighetsmål var av mer gjennomgripende karakter og var med å tydeliggjøre helheten i emnet. Ferdighetsmålene lød:

-Kunne anvende treningsprinsipper og treningsmetoder ved gjennomføring av trening (knyttet til bolk 1 og 3)

-Kunne gjennomføre fysiske prestasjonstester og vurdere testenes validitet (knyttet til bolk 1 og 3, da særlig til de underbolkene med mest omfattende praktisk undervisning knyttet til seg)

-Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster (knyttet til alle bolker)

#### **6.4.2 Gjennomføringen av emnet**

Nedenfor gir jeg en kort beskrivelse av innholdet i hver av bolkene. I likhet med emnet Anatomi & bevegelseslære ble teoriundervisningen i Treningslære gitt samlet for hele kulletts 100 studenter mens studentene var delt i 5 grupper à 20 studenter i de praktiske undervisningstimene. Nedenfor beskrives undervisningsomfanget som det antall undervisningstimer som ble gitt hver student.

##### Bolk 1

Bolk 1 omhandlet målet fra emneplanen som lød «Kjenne generelle prinsipper og metoder innen treningsplanlegging». Undervisningen i denne bolken besto av to dobbelttimer med teori og ingen praktiske timer. Av ferdighetsmålene var det bare det sistnevnte (Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster) som ble innlemmet i bolken. Undertegnede hadde all undervisning i bolken.

##### Bolk 2

Bolk 2 omhandlet målet fra emneplanen som lød «Ha oversikt over generelle tiltak for å forebygge og behandle idrettsskader». Undervisningen i denne bolken besto av én dobbelttime med teori og ingen praktiske timer. I likhet med den første bolken var det også her bare det siste av ferdighetsmålene (Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster) som ble innlemmet i bolken.

Undervisningen i bolken ble holdt av en annen kollega fra idrettsseksjonen.

##### Bolk 3

Bolk 3 omhandlet målene «Ha oversikt over organiske egenskaper som er særlig viktige for prestasjonen i ulike typer idretter» og «Kunne beskrive kroppens respons på ulike typer trening og kunne anvende kunnskapen ved planlegging av trening». Undervisningen i bolken besto av totalt ti dobbelttimer med teoriundervisning samt at hver student var med på ni dobbelttimer obligatorisk praktisk undervisning i grupper à 20 studenter. Alle ferdighetsmålene ble knyttet til bolken. Hvor sterkt de ulike ferdighetsmålene ble betont, varierte mellom bolkens underbolker.

### *Underbolk 3a: Oppvarming*

Her ble det gitt én enkelttime med teoriundervisning samt én enkelttime med obligatorisk praktisk undervisning. Undertegnede hadde all undervisningen.

### *Underbolk 3b: Motorisk læring*

Her ble det gitt to dobbelttimer med teoriundervisning samt to dobbelttimer med obligatorisk praktisk undervisning. En annen kollega fra idrettsseksjonen hadde all undervisningen og hadde i tillegg ansvaret for et arbeidskrav som ble gitt innenfor denne underbolken.

Arbeidskravet var en individuell oppgave innen motorisk læring og fokuserte på hvordan man kan oppnå best mulig motorisk læring ved bruk av hensiktsmessig instruksjon og hensiktsmessige tilbakemeldinger. Arbeidskravet gikk ut på at hver student skulle levere en skriftlig tekst der de beskrev erfaringer fra de praktiske timene og relaterte dem til relevant forskningslitteratur. Gjennom underbolken ble ferdighetsmål 1 og 3 fokusert, det første av dem gjennom undervisningen og det siste av dem gjennom arbeidet med arbeidskravet.

### *Underbolk 3c: Styrketrening*

Her ble det gitt to dobbelttimer med teoriundervisning samt tre dobbelttimer obligatorisk praktisk undervisning. I de praktiske timene fokuserte undervisningen på det første av ferdighetsmålene, som gikk på å anvende treningsprinsipper og treningsmetoder. I underbolken ble det også gitt et arbeidskrav. Arbeidskravet om styrketrening var mer omfattende enn arbeidskravet om motorikk og var basert på data innsamlet i de praktiske dobbelttimene hver student deltok på. Gjennom arbeidskravet fikk studentene særlig utviklet sin kompetanse innen de to sistnevnte ferdighetsmålene: «Kunne gjennomføre tester av fysisk prestasjonsutvikling og vurdere testenes validitet» og «Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster».

### *Underbolk 3d: Hurtighet og spenst*

Her ble det gitt én dobbelttime med teoriundervisning samt én dobbelttime med obligatorisk praktisk undervisning. Undertegnede hadde all undervisningen.

### *Underbolk 3e: Bevegelighet*

Her ble det gitt én dobbelttime med teoriundervisning samt én dobbelttime med obligatorisk praktisk undervisning. Undertegnede hadde all undervisningen. Som del av den praktiske undervisningen gjennomførte studentene et utvalg tester av sitt maksimale leddutslag. Studentene noterte testresultatene sine og leverte dem til undertegnede sammen med enkelte andre opplysninger som kjønn og hvilken idrett de drev med. Undertegnede bearbeidet opplysningene og presenterte dem for studentene som en del av teoriundervisningen om temaet bevegelighet. Ved presentasjonen ble funnene sammenliknet med publiserte forskningsfunn om hva som ser ut til å være prestasjonsmessig gunstige verdier for maksimalt leddutslag i ulike idretter. Testingen av leddutslag ga studentene erfaringer med ferdighetsmålene «Kunne gjennomføre fysiske prestasjonstester og vurdere testenes validitet» og «Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster».

### *Underbolk 3f: Utholdenhet*

Her ble det gitt tre dobbelttimer med teoriundervisning samt to dobbelttimer med obligatorisk praktisk undervisning. En annen kollega fra idrettsseksjonen hadde teoriundervisningen mens undertegnede hadde den praktiske undervisningen.

## **6.4.3 Utvikling av faglig- pedagogiske ressurser**

### Sammenfatning av data fra arbeidskravsoppgaver

I likhet med i emnet Anatomi & bevegelseslære har jeg også for emnet Treningslære bearbeidet anonymiserte fysiologiske data som studentene har registrert i obligatoriske praktiske timer. En del av disse dataene har jeg anvendt i emnets teoriundervisning med det formål å gjøre undervisningen mest mulig forskningsnær, interessant og lærerik for studentene. I undervisningen i Treningslære har jeg blant annet bearbeidet og anvendt studentdata for maksimalt leddutslag og maksimal muskelstyrke i en faglig kontekst (vedlegg 4).

### Utvikling av videosnutter

I undervisningen i studieåret h14/v15 brukte jeg en egenlagd videosnutt à ca 4 minutter i undervisningsbolk 3c. Formålet var å gjøre undervisningen mest mulig interessant og lærerik for studentene samt å gi dem innblikk i en relevant datainnsamlingsmetode innenfor undervisningstemaet. Videoen viste metoden for å ta mikrobiopsier i datainnsamlingen til artikkelen «Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training» (Nygaard et al 2015, vedlegg 11), som jeg er medforfatter for.

## **6.5 Studentevalueringer studieåret h14/v15**

### **6.5.1 Metode**

Studieåret 2014/ 2015 ble det gjennomført studentevalueringer i siste undervisningstime i både Anatomi & bevegelseslære og i Treningslære. For begge emner var dette en teoritime uten obligatorisk frammøte. For emnet Anatomi & bevegelseslære møtte 67 av emnets 100 studenter og for emnet Treningslære møtte 55 av emnets 100 studenter. Evalueringene for både Anatomi & bevegelseslære og Treningslære fant sted åtte dager før emnets eksamen. I likhet med evalueringene for studieårene h10/v11- h13/v14, ble det også for studieåret h14/v15 gjennomført skriftlige individuelle evalueringer ved at studentene besvarte et spørreskjema anonymt. Spørsmålene i skjemaets første del var identiske med dem fra de tidligere årene, men var i tillegg supplert med spørsmål om hvor lærerik studentene syntes undervisningen hadde vært og om studentene syntes undervisningen var lagt på et faglig

passende nivå (vedlegg 5). For å bearbeide spørreundersøkellesdataene la jeg dem inn i Excel. Excel ble også benyttet ved utregninger og statistiske beregninger. For å undersøke forskjeller mellom variabler for samme studentkull ble det benyttet Student's t-test med tosidig fordeling for parvise utvalg, mens for å undersøke forskjell mellom ulike årskull ble det benyttet Student's t-test med tosidig fordeling for uavhengige utvalg. Signifikansnivået ble satt til  $p < 0.05$ .

For emnet Anatomi & bevegelseslære ble det gjennomført en gruppeevaluering av emnet umiddelbart etter den individuelle evalueringen. For emnet Treningslære ble det imidlertid ikke gjennomført noen gruppeevaluering. Gruppeevalueringen for Anatomi & bevegelseslære ble gjennomført på samme måte som for studieårene h10/v11- h13/v14. Dette innebar at de 67 frammøtte studentene ble fordelt på 14 grupper à ca 5 studenter pr gruppe og skriftlig og anonymt besvarte de samme fire åpne spørsmålene som de tidligere studentkullene hadde besvart. Gruppene ble bedt om å svare så ærlig som mulig på alle spørsmål, og for å tilrettelegge for dette var verken undertegnede eller andre faglærere til stede i undervisningsrommet mens evalueringen pågikk. Hver studentgruppe utnevnte en sekretær som på et utlevert skjema skrev ned de tilbakemeldingene gruppa ble enige om. Ved innlevering av skjemaene brettet hver gruppe skjemaet slik at skriften ikke var synlig før de la det i en felles boks.

## 6.5.2 Funn

### Funn fra de individuelle evalueringene

I dette profileringsdokumentet er det pedagogiske fokuset å vise hvordan mine emneansvarsområder på 1. år bachelor idrett har blitt utviklet med tanke på å gi best mulig læring for studentene. Nedenfor vil jeg presentere funn fra de individuelle evalueringene for emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære. Funnene er oppgitt som gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik.

#### *Studentenes opplevelse av emnenes vanskegrad*

På en VAS- skala fra 0 til 10 der 0 symboliserte «ikke vanskelig» og 10 «svært vanskelig» ble studentene bedt om å vurdere hvor vanskelig de syntes emnenes faglige innhold var. For emnet Anatomi & bevegelseslære ble det skilt mellom emnets mekanikkdel og øvrige deler av emnet. For hele emnet samlet var den gjennomsnittlige oppgitte vanskegraden  $5.3 \pm 1.7$ . For emnet Treningslære ble det ikke skilt mellom vanskegrad i ulike deler av emnet. Her svarte studentene gjennomsnittlig  $4.0 \pm 1.8$ . Forskjellen mellom oppgitt vanskegrad i de to emnene var signifikant forskjellig ( $p = 0.00012$ ). For emnet Anatomi & bevegelseslære sin mekanikkdel oppga studentene i gjennomsnitt vanskegraden som  $6.2 \pm 2.1$  mens de oppga den som  $4.4 \pm 2.0$  for de delene av emnet som ikke omhandlet mekanikk (dvs anatomi og muskelfunksjon). Forskjellen var signifikant forskjellig ( $p = 1.84E-08$ ). Emnet Anatomi & bevegelseslære sin mekanikkdel i studieåret h14/v15 ble av studentene vurdert som mindre

vanskelig enn emnet Trenings- og bevegelseslære sin mekanikkdel i studieåret h13/v14 (henholdsvis VAS- skala- score  $6.2 \pm 2.1$  og  $7.1 \pm 2.3$ ;  $p < 0.05$ ).

#### *Studentenes opplevelse av detaljnivået til læringsmåldokumentene*

På en VAS- skala fra 0 til 10 der 0 symboliserte «for lite detaljert» og 10 «for mye detaljert» ble studentene bedt om å vurdere detaljnivået i læringsmåldokumentet. Midt på VAS- skala- linja (svarende til 5 på skalaen) var det skrevet «passe». Tallsvarene for emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære var henholdsvis  $5.0 \pm 1.2$  og  $4.9 \pm 0.9$ . For emnet Anatomi & bevegelseslære viste studentsvarene at de med høy karakterambisjon i emnet (A eller B) ønsket seg et noe mer detaljert læringsmåldokument enn dem med karakterambisjon C eller svakere ( $p < 0.05$ ). For emnet Treningslære var det ingen statistisk forskjell mellom dem med høy og lav karakterambisjon.

#### *Studentenes bruk av læringsmåldokumentene*

På en VAS- skala fra 0 til 10 der 0 symboliserte «i liten grad» og 10 «i svært stor grad» ble studentene bedt om å markere i hvor stor grad de hadde brukt dokumentet på Fronter kalt «Læringsmåldokument» (dokumentet som gir en utfyllende beskrivelse av emneplanen og som tydeliggjør emnets læringsmål). For begge emnene var avkrysningen noe nærmere «i liten grad» enn «i svært stor grad» og det var ingen statistisk forskjell mellom de to emnene i hvor mye læringsmåldokumentene ble brukt. For emnet Anatomi & bevegelseslære oppga studentene med høy karakterambisjon at de hadde brukt læringsmåldokumentet mer enn dem med lav karakterambisjon (henholdsvis  $5.8 \pm 3.3$  kontra  $3.9 \pm 3.2$ ,  $p < 0.05$ ). Også for emnet Treningslære oppga studentene med høy karakterambisjon at de hadde brukt læringsmåldokumentet noe mer enn dem med lav karakterambisjon, henholdsvis  $4.4 \pm 3.5$  kontra  $3.0 \pm 2.7$ , men her var forskjellen ikke signifikant.

#### *Studentenes opplevelse av hvor lærerike arbeidskravene var*

På en VAS- skala fra 0 til 10 der 0 symboliserte «ikke lærerikt» og 10 «svært lærerikt» ble studentene bedt om å vurdere hvor lærerike de syntes emnenes arbeidskrav var. For emnet Anatomi & bevegelseslære ble det funnet at studentene vurderte arbeidskrav 2 som mest lærerikt og som signifikant mer lærerikt enn arbeidskrav 1 og 3 ( $p < 0.05$  for Bonferronikorrigerede p-verdier). For emnet Treningslære ble det funnet at studentene vurderte arbeidskrav 2 som klart mer lærerikt enn arbeidskrav 1 ( $p=0.0000042$ ).

Tabell 3. Tabellen nedenfor viser studentenes vurdering av hvor lærerike de ulike arbeidskravene var, oppgitt som gjennomsnitt og standard avvik, der 0 symboliserte «ikke lærerikt» og 10 «svært lærerikt». Kolonnen lengst til høyre viser hvor mange prosent høyere gjennomsnittsscore det er for dem med karakterambisjon A og B (høy karakterambisjon) sammenliknet med dem med lavere karakterambisjon.

Arbeidskrav	Alle studenter	De med høy karakterambisjon sammenliknet med dem med lavere
Emnet Anatomi & bevegelseslære, Arbeidskrav 1 (individuell arbeidskrav om matematikk, grunnleggende biomekanikk og sannsynlighetsregning)	5.3 ± 2.2	+12.9 % Ikke signifikant funn
Emnet Anatomi & bevegelseslære, Arbeidskrav 2 (individuell arbeidskrav om styrketreningsøvelser, med redegjørelse for muskelbruk og teknisk utførelse)	7.6 ± 1.8	+4.9 % Ikke signifikant funn
Emnet Anatomi & bevegelseslære, Arbeidskrav 3 (gruppearbeidskrav med datainnsamling og rapport-skriving på bakgrunn av innsamlede data)	6.5 ± 2.3	-3.3 % Ikke signifikant funn
Emnet Anatomi & bevegelseslære, Arbeidskrav 4 (gruppearbeidskrav med filming av teknikk med tilhørende framlegging)	5.7 ± 2.4	-5.9 % Ikke signifikant funn
Emnet Treningslære, Arbeidskrav 1 (individuell skriftlig arbeidskrav om motorikk på bakgrunn av praktisk oppgave gjennomført i en obligatorisk time)	4.5 ± 2.3	-4.4 % Ikke signifikant funn
Emnet Treningslære, Arbeidskrav 2 (arbeidskrav om styrketrening på bakgrunn av styrketester studentene hadde gjennomført i en praktisk obligatorisk time, valgfritt om man ville levere individuelt eller i gruppe)	6.0 ± 2.0	+8.2 % Ikke signifikant funn

#### *Studentenes opplevelse av det faglige nivået for undervisningen*

På et lukket spørsmål med tre svaralternativ ble studentene spurt om hva slags faglig nivå teoriundervisningen burde vært lagt på for at deres utbytte av undervisningen skulle blitt maksimalt. For emnet Anatomi & bevegelseslære krysset 70 % av for «omtrent samme faglige nivå som det har vært», 27 % for «enklere faglig nivå» og 3 % for «dypere faglig nivå». For tilsvarende spørsmål for emnet Treningslære krysset 75 % av for «omtrent samme faglige nivå som det har vært», 7 % av for «enklere faglig nivå» og 18 % for «dypere faglig nivå». Sammenliknet med det faktiske nivået på undervisningen ønsket altså gjennomsnittsstudentene et uendret eller noe lavere faglig nivå på undervisningen i Anatomi & bevegelseslære, mens de ønsket seg et uendret eller noe høyere faglig nivå på undervisningen i Treningslære. Dersom man kun ser på studenter med høy karakterambisjon i emnet Anatomi & bevegelseslære (A eller B, n=24) krysset 88 % av studentene av for

«omtrent samme faglige nivå som det har vært», mens 8 % krysset av for «enklere faglig nivå» og 4 % for «dypere faglig nivå». Dersom man kun ser på studenter med høy karakterambisjon i emnet Treningslære (A eller B, n = 26), krysset 73 % av studentene av for «omtrent samme faglige nivå som det har vært», ingen for «enklere faglig nivå» og 27 % for «dypere faglig nivå».

#### *Studentenes opplevelse av hvor lærerik undervisningen var*

På spørsmål om i hvilken grad studentene syntes at undervisningen hadde vært lærerik, krysset studentene av på en VAS- skala fra 0 til 10 der 0 symboliserte «ikke lærerik» og 10 «svært lærerik». For emnet Anatomi & bevegelseslære sine teoretiske timer svarte studentene  $6.8 \pm 1.7$ , mens de for de praktiske timene svarte  $7.2 \pm 1.6$ . Forskjellen mellom hvor lærerike studentene vurderte de praktiske og de teoretiske timene var ikke signifikant. Studenter med høy karakterambisjon i emnet (A eller B) vurderte både de teoretiske timene og praktiske timene som noe mer lærerike enn studentene med lav karakterambisjon (C eller svakere). Forskjellene i VAS- skala- score var henholdsvis 11 % (ikke signifikant forskjell) og 12 % ( $p < 0.05$ ). På tilsvarende spørsmål for emnet Treningslære sine teoretiske timer svarte studentene  $6.3 \pm 2.0$ , mens de for de praktiske timene svarte  $6.8 \pm 2.2$ . Forskjellen mellom hvor lærerike studentene vurderte de praktiske og de teoretiske timene var signifikant ( $p < 0.05$ ). Studenter med høy karakterambisjon i emnet (A eller B) vurderte de teoretiske timene som noe mer lærerike enn studentene med karakterambisjon C eller svakere. Forskjellen i VAS- skala- score var 23 % ( $p < 0.05$ ). For de praktiske timene var det ingen forskjell. Som tallene over viser vurderte studentene undervisningen i Anatomi & bevegelseslære som noe mer lærerik enn for Treningslære. Forskjellene var imidlertid ikke signifikante verken for den teoretiske eller den praktiske undervisningen.

#### Funn fra gruppeevalueringen

Som beskrevet i kapittel 6.5.1, ble det for emnet Anatomi & bevegelseslære i studieåret h14/v15 gjennomført en gruppeevaluering i tillegg til den individuelle evalueringen. Gruppeevalueringens hovedfunn var at studentene oppga å være fornøyd med emnet.

*For spørsmålet «Hva er bra?» ble dette trukket fram:*

- Lærer var engasjert
  - Ryddige og oversiktlige forelesninger
  - God kvalitet på undervisningen/ lærerike forelesninger
  - Lærerike arbeidskrav
  - Studentene følte seg inkludert i læringsarbeidet
  - Strukturen på Fronter (den digitale læringsplattformen) var ryddig/ oversiktlig
- Øvrige innspill ble kun tilkjennegitt av 1 av 14 studentgrupper, og siden innspillene derfor trolig representerer en mindre andel studenter, har jeg valgt å ikke presentere dem her

*For spørsmålet «Hva kan bli bedre?» ble dette trukket fram:*

- Mange grupper skrev «Alt er bra»/ «Vi er fornøyd» eller «Kan ikke komme på noe» eller skrev ingenting på dette spørsmålet

-Enkelte grupper skrev at de kunne ønsket større fleksibilitet mht. gruppebytter i praktiske timer

-To grupper skrev at de kunne ønsket noe enklere forklaringer i mekanikk- timer

Øvrige innspill ble kun tilkjennegitt av 1 av 14 studentgrupper, og siden innspillene derfor trolig representerer en mindre andel studenter, har jeg valgt å ikke presentere dem her

*For punktet «Ideer og innspill til endringer» ble dette trukket fram:*

-Enkelte grupper skrev at de kunne ønsket seg flere praktiske undervisningstimer

-To grupper skrev at de generelt kunne ønsket seg noe enklere faglige forklaringer av lærer

-Mange grupper skrev ingenting på dette spørsmålet eller skrev «Nei, ingen» eller «Trenger ikke endre noe»

Øvrige innspill ble kun tilkjennegitt av 1 av 14 studentgrupper, og siden innspillene derfor trolig representerer en mindre andel studenter, har jeg valgt å ikke presentere dem her

### **6.5.3 Vurderinger**

Nedenfor vil jeg vurdere emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære i lys av studentevalueringene og egne vurderinger. Enkelte steder trekker jeg også inn pedagogisk teori. Overskriftene er de samme som ble brukt ved presentasjonen av funnene for studentenes individuelle evalueringer. Dette innebærer at funn fra både de individuelle evalueringene og gruppeevalueringene vurderes samlet.

#### Studentenes opplevelse av emnenes vanskegrad

Når mekanikkdelen av Anatomi & bevegelseslære holdes utenfor, oppgir studentene på studieåret h14/v15 emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære som omtrent like vanskelige (gjennomsnittlig 4.4 versus 4.2 på VAS- skalaen). Denne oppgitte vanskegraden er lavere enn det studentene oppga for emnet Trenings- og bevegelseslære i studieårene h10/v11- h13/v14 når mekanikkdelen ble holdt utenfor. Ved tolkningen av funnene er det viktig å huske på at mens Trenings- og bevegelseslære h10/v11- h13/v14 inneholdt kun teoretiske timer, besto emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære av både teoretiske og praktiske timer. De praktiske timene besto av utprøving av metoder og prinsipper som det var undervist om i teoritimene. Det er rimelig å anta at studentene oppfattet de praktiske timene som faglig enklere enn de teoretiske og at mye av forskjellen mellom det siste og de foregående studieårene derfor kan tilskrives den endrede emnestrukturen. Det er imidlertid også mulig at andre forhold ved den nye emnestrukturen kan ha spilt inn. Mens temaområdet treningslære og bevegelseslære, inklusiv mekanikkundervisningen, besto av 20 studiepoeng i studieårene h10/v11- h13/v14, besto det samme temaområdet av 25 studiepoeng i studieåret h14/v15. Innholdsmessig ble imidlertid temaområdet kun marginalt økt, med unntak av at det ble innført to ekstra arbeidskrav til temaområdet. Økningen fra 20 til 25 studiepoeng skjedde på bakgrunn av at de tidligere emnene Trenings- og bevegelseslære og Basistrening ble vurdert til å i virkeligheten utgjøre mer enn 20 studiepoeng.

For mekanikkdelen i temaområdet ble det funnet en reduksjon i oppgitt vanskegrad (basert på VAS- skala- spørsmålet) fra studieåret h13/v14 til studieåret h14/v15 på 14 % ( $p < 0.05$ ). At



temaområdet for studieåret h14/v15 inkluderte praktiske timer kan ha medvirket til endringen. Det ble imidlertid kun gitt én dobbeltime praktisk undervisning pr. student innen temaet mekanikk, noe som er lite sammenliknet med de ti dobbelttimene teoriundervisning som ble gitt innen dette temaet. Det er derfor grunn til å anta at også andre forhold har spilt inn. En nærliggende antakelse er at endringen helt eller delvis kan forklares ved innføringen av timer med grunnleggende matematikk og biomekanikk i starten av emnet.

#### Studentenes opplevelse av detaljnivået i læringsmåldokumentene

For både Anatomi & bevegelseslære og Treningslære oppgir studentene at de synes det er et passende detaljnivå i læringsmåldokumentet i forhold til å fungere som hjelp for læring og motivasjon for læring. Det er imidlertid interessant å merke seg at studenter med høy karakterambisjon ønsker seg noe mer detaljerte læringsmåldokument enn de med lavere karakterambisjon. Som utdanningsinstitusjon ønsker seksjon for idrettsvitenskap ved HiL å særlig tilrettelegge for ambisiøse og arbeidssomme studenter. Dette taler for at en eventuell justering av de to emnenes læringsmåldokumenter bør være i retning av et høyere detaljnivå.

#### Studentenes bruk av læringsmåldokumentene

Det funnet at studentene både for emnet Anatomi & bevegelseslære og Treningslære oppga at de hadde brukt læringsmåldokumentet så vidt lite (noe nærmere «i liten grad enn «i svært stor grad») kan ha flere forklaringer. En mulig forklaring er at studentenes arbeid med studiene har vært så vidt begrenset eller usystematisk at det ikke har vært aktuelt for dem å bruke læringsmåldokumentet i særlig utstrakt grad. En annen mulig forklaring kan være at mange studenter til tross for systematisk jobbing, i begrenset grad har ansett læringsmåldokumentenes innhold som verdifulle i læringsarbeidet. Det er mulig at jeg i mitt pedagogiske arbeid med studentene burde fokusert mer på hvilken nytte læringsmåldokumentene kunne ha for studentenes læring. Bl.a. kunne jeg anvendt læringsmåldokumentene enda bredere enn hva jeg gjorde i studieåret h14/v15. I tillegg til min primære bruk av dem som disposisjon for undervisning, kunne jeg f.eks. systematisk fokusert på dem i de spørsmålene jeg la ut til studentene i etterkant av hver teoritime. For å motivere studentene til å bruke læringsmålene aktivt i læringsarbeidet kunne jeg også henvist til forskning som viser at det er en sammenheng mellom læringsutbytte og hvor godt man kjenner læringsmålene (Hattie 2011).

#### Studentenes opplevelse av hvor lærerike arbeidskravene var

Gjennom det individuelle spørreskjemaet ble det ikke samlet inn data som kunne forklare hvorfor enkelte arbeidskrav ble oppgitt som mer lærerike enn andre. For emnet Anatomi & bevegelseslære er det derfor uvisst hvorfor studentene oppga det individuelle arbeidskravet med redegjørelse for muskelbruk og teknisk utførelse i styrketreningsøvelser (arbeidskrav 2) som det mest lærerike. En mulig forklaring kan være at temaet muskelbruk i styrketreningsøvelser oppleves som meningsfullt å ha faglig innsikt i. Det er også mulig at studentene jobbet ekstra mye med arbeidskravet siden det ble gjennomført individuelt og det

da ble uaktuelt å la andre gruppedlemmer gjøre jobben og selv være «gratispassasjer». Dersom det individuelle aspektet var viktig, kunne man antatt at studentene også hadde vurdert det individuelle arbeidskravet i matematikk, grunnleggende biomekanikk og sannsynlighetsregning som særlig lærerikt (arbeidskrav 1). Dette var imidlertid det av emnets fire arbeidskrav studentene rapporterte som minst lærerikt. Årsaken til at det ble rapportert som minst lærerikt er uvisst, men en interessant opplysning enkelte studenter har gitt meg er at noen studenter skal ha kopiert svarene til faglig flinke medstudenter i stedet for selv å jobbe iherdig for å få til oppgavene på egenhånd. For kommende studieår ønsker jeg ikke å droppe arbeidskrav 1, siden jeg antar at det å beholde arbeidskravet virker stimulerende for studentenes arbeid med temaet. For kommende studieår vil jeg imidlertid tydeliggjøre enda klarere hvordan kompetansen som prøves i arbeidskravet er avgjørende for å kunne løse mer komplekse oppgaver om idrettsteknikk senere i semesteret. Et ytterligere moment som taler for å beholde arbeidskravet i matematikk og grunnleggende biomekanikk, er at studentene med høy karakterambisjon synes arbeidskravet er mer lærerikt enn de med lavere karakterambisjon. Det er mulig at studenter med høy karakterambisjon i større grad enn andre har vært i stand til å oppfatte helheten i emnet, og dermed tydeligere har erfart hvordan mestring av grunnleggende matematikk og biomekanikk inngår i denne helheten. Sammenliknet med sine medstudenter kan de ha opplevd en større grad av meningsfullhet i arbeidet med lærestoffet, noe som annen forskning har vist at er viktig for læringsmotivasjon (Ryan & Deci 2002).

Gruppearbeidskravet med filming av teknikk med tilhørende framlegging (arbeidskrav 4) ble av studentene vurdert som middels lærerikt sammenliknet med de øvrige arbeidskravene i samme emne. Dette arbeidskravet passer etter mitt syn godt inn i emnet siden det integrerer alle emnets læringsmål. Det inneholder dessuten en studentaktiv arbeidsform med stor grad av frihet med hensyn til både form og innhold. Årsaken til at studentene ikke vurderer arbeidskravet som enda mer lærerikt tror jeg kan tilbakeføres til hvilke krav og forventninger studentene opplevde de ble stilt overfor i arbeidskravet. I etterkant mener jeg at jeg burde tydeliggjort høyere forventningskrav til faglig dybde.

Gruppearbeidskravet med datainnsamling og rapport-skriving på bakgrunn av data studentene samlet inn på høgskolens testlab (arbeidskrav 3), ble av studentene vurdert som det nest mest lærerike av arbeidskravene i Anatomi & bevegelseslære. Dette arbeidskravet var nær identisk med det som ble gjennomført i emnet Trenings- og bevegelseslære studieåret h13/v14, og som jeg da mente hadde funnet en form og et innhold som fungerte godt og ga bra læring. I studieåret h14/v15 vurderte studentene arbeidskravet som nøyaktig like lærerikt som studentene året før hadde vurdert det til, noe jeg tolker som at arbeidskravet også fungerte godt det siste av studieårene.

For emnet Treningslære vurderte studentene arbeidskravet om styrketrening som klart mer lærerikt enn arbeidskravet om motorikk. Dersom man sammenlikner hvor lærerike arbeidskravene i Treningslære og Anatomi & bevegelseslære ble vurdert, ser man at arbeidskravet i motorikk skiller seg ut som det studentene vurderer som klart minst lærerikt. Det er ikke gjennomført noen datainnsamling som direkte kan gi svar på hvorfor studentene

vurderer arbeidskravet i motorikk som så vidt lite lærerikt. Siden det ikke var undertegnede som hadde ansvaret for verken arbeidskravet i motorikk eller undervisningen om temaet motorikk er det vanskelig å gi noen inngående vurdering. Dersom det for kommende år skal gjennomføres et arbeidskrav innen temaet motorikk, vil innholdet og rammene for dette bli endret. En forklaring på at arbeidskravet i styrketrening ble vurdert som klart mer lærerikt enn det andre arbeidskravet i emnet, kan ligge i at det i større grad var innenfor en type trening mange studenter fra før av interesserte seg for. Vinklingen i arbeidskravet var i tillegg slik at det tematiserte forholdet mellom styrketrening og langrennsprestasjon, noe som kan ha virket motivasjonsøkende på de mange studentene som var aktive skiløpere.

I studieåret h14/v15 var jeg, i tillegg til å være emneansvarlig for de to omtalte 1.års- emnene, også emneansvarlig for 15- studiepoengsemnet Fysisk aktivitet og helse 1 på 2. år bachelor idrett. Dette studieåret ble det gjennomført en skriftlig individuell, anonym evaluering også av det emnet. Undertegnede hadde det faglige ansvaret for det ene av emnets fire arbeidskrav mens to andre av seksjonens faglærere hadde ansvaret for de øvrige. Alle fire arbeidskravene var blitt gjennomført på omtrent samme måte over flere år og hadde funnet en form vi faglærerne antok fungerte tilfredsstillende i forhold til å oppnå god læring for studentene. I evalueringen ble studentene blant annet bedt om å vurdere hvor lærerike de syntes emnets fire arbeidskrav hadde vært. Ved vurderingen ble det benyttet identiske spørsmålsformuleringer som for 1.års- emnene. Dersom man sammenlikner hvor lærerike studentene syntes arbeidskravene i hvert enkelt av de tre emnene var i gjennomsnitt, finner man en signifikant høyere score for Anatomi & bevegelseslære enn for hvert av de to andre emnene ( $p < 0.05$ ). Gjennomsnittlig VAS- skala- score for arbeidskravene i Anatomi & bevegelseslære, Treningslære og Fysisk aktivitet og helse 1 var henholdsvis  $6.3 \pm 1.4$ ,  $5.4 \pm 1.8$  og  $5.6 \pm 1.4$ . Det funnet at studentene vurderer arbeidskravene i Anatomi & bevegelseslære som mere lærerike enn for Fysisk aktivitet og helse 1, stadfester inntrykket av at emnet Anatomi & bevegelseslære har arbeidskrav som fungerer tilfredsstillende.

#### Studentenes opplevelse av det faglige nivået for undervisningen

Med utgangspunkt i hva studentmassen som helhet svarer, kan det argumenteres for at det faglige nivået for undervisningen studieåret h14/v15 var lagt noe for høyt i Anatomi & bevegelseslære og noe for lavt i Treningslære. Det er imidlertid vist at studenter lærer mest når det forventes mye av dem (Rosenthal & Jacobsen 1992; Marzano et al 2013). Med det som utgangspunkt kan det argumenteres for at undervisningen i Anatomi & bevegelseslære lå på et passende faglig nivå, mens det faglige nivået for undervisningen i Treningslære var for lavt. Dersom man vurderer det som optimalt at undervisningen særlig skal være tilpasset dem med høy karakterambisjon, blir dette enda klarere ettersom studentene med høy karakterambisjon oppga at de ønsket et noe høyere faglig nivå for undervisningen sammenliknet med hva de øvrige studentene ønsket seg.

### Studentenes opplevelse av hvor lærerik undervisningen var

Ved avkrysningene på VAS- skalaene vurderte studentene både den teoretiske og den praktiske undervisningen i begge emner som klart nærmere «svært lærerik» enn «ikke lærerik». På bakgrunn av studentenes VAS- skala- markeringer er det imidlertid vanskelig å tolke studentenes faktiske mening ettersom det finnes få studentevalueringer som har brukt tilsvarende spørsmålsformulering og svar- skala. De eneste sammenliknbare data jeg har tilgang til er fra 15- studiepoengs- emnet Fysisk aktivitet og helse 1 på 2. år bachelor idrett ved HiL. For dette emnet har undertegnede i de siste årene vært emneansvarlig og hatt ca 40 % av undervisningen. De øvrige 60 % har vært fordelt på andre kolleger i seksjonen. Både undertegnede og de involverte faglærernes vurdering har vært at emnet Fysisk aktivitet og helse 1 har fungert tilfredsstillende, men inntil studieåret h14/v15 hadde emnet ikke vært gjenstand for tilsvarende grundige studentevalueringer som temaområdet treningslære og bevegelseslære. Studieåret h14/v15 vurderte imidlertid også studentene i emnet Fysisk aktivitet og helse 1 hvor lærerik de mente undervisningen hadde vært ved å besvare identiske spørsmål som studentene i emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære. Som for de to 1.års- emnene ble også evalueringen for emnet Fysisk aktivitet og helse 1 gjennomført i siste undervisningstime før eksamen. På timen møtte 33 av kulletts 48 studenter, og alle de frammøtte svarte på spørsmålene (svarprosent: 69). VAS- skala- svarene viste at studentene vurderte teoriundervisningen i emnet Fysisk aktivitet og helse 1 som signifikant mindre lærerik enn for Anatomi & bevegelseslære ( $p < 0.05$ ) og også noe mindre lærerik enn for Treningslære, men uten at sistnevnte forskjell var signifikant. For emnet Fysisk aktivitet og helse 1 vurderte studentene den praktiske undervisningen som omtrent like lærerik som for de to 1.års- emnene. At Anatomi & bevegelseslære og Treningslære kommer godt ut av sammenlikningen, styrker oppfatningen om at de to 1.års- emnene har fungert bra. For Anatomi & bevegelseslære støtter funnene fra gruppeevalueringen opp om at studentene var fornøyd med undervisningen. Mange grupper trakk fram at emneansvarlig var engasjert og at undervisningen var preget av ryddighet og god faglig kvalitet, mens de negative tilbakemeldingene som kom fram gjaldt mindre og avgrensede forhold.

Emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære hadde mange likhetstrekk. Undertegnede var både emneansvarlig for og hadde mesteparten av undervisningen i begge emnene (dog noe større andel av timene i Anatomi & bevegelseslære). Emnene liknet hverandre også ved at begge besto av både teoretiske og praktiske timer, at teoriundervisningen var bygget opp rundt tydelige målformuleringer og at det etter hver teoritime ble det lagt ut arbeidsoppgaver som studentene ble anbefalt å arbeide med. Når det gjaldt hvor lærerik studentene vurderte undervisningen, ble det funnet en liten ikke- signifikant forskjell i favør Anatomi & bevegelseslære. At en eventuell forskjell mellom de to 1.års- emnene favoriserer Anatomi & bevegelseslære samstemmer med at det er i dette emnet jeg har lagt ned den største faglig- pedagogiske innsatsen i utviklingen av både arbeidskrav og undervisning. Blant annet har jeg lagt ned arbeid i å utvikle en passende progresjon i undervisningen i temaet matematikk og grunnleggende biomekanikk, samt i å utarbeide et tilhørende kompendium.

I seksjonen har vi en kontinuerlig diskusjon om prioritering av ressurser på ulike trinn og emner. Et tilbakevendende punkt er hvor mange praktiske timer de ulike emnene skal inneha.

For en del tema i både Anatomi & bevegelseslære og Treningslære er det udiskutabelt at det ut fra formuleringene i emneplanene må være både praktiske og teoretiske timer. For andre emner er innslaget av praktiske timer begrunnet med at slike timer er viktige for studentenes læring. Studentevalueringene for studieåret h14/v15 viste at studentene oppga de praktiske timene som noe mer lærerike enn de teoretiske. Funnet samsvarer med John Dewey sitt syn at læringen blir både mer meningsfull, dypere og mer varig dersom den involverer mange typer erfaringer, også kroppslige (Dewey 1897). På den annen side er det interessant at studentene ikke vurderte de praktiske timene som signifikant mer lærerike enn de teoretiske. I de praktiske timene ble studentkullet delt opp i fem grupper. Hvis man ser bort fra forskjeller i forberedelsestid mellom praktiske og teoretiske timer, var dermed undervisningstiden fem ganger så omfattende for de praktiske timene som for de teoretiske, der all undervisningen ble gitt til hele studentkullet samlet. Det vil altså være økonomisk besparende å kutte i antallet praktiske timer (grunnet fem gjennomføringer i stedet for én) og i stedet øke antallet teoretiske timer. Slik jeg ser det gir imidlertid de praktiske timene en type læring og meningsopplevelse som de teoretiske timene ikke har mulighet til å gi, siden det er i de praktiske timene det er mulig å la studentene prøve ut treningsmetoder, treningsprinsipper og målemetoder.

## **7 2BA idrett og 3BA idrett ved HiL innen mine ansvarsområder**

I løpet av mine år ved HiL har jeg i tillegg til det omtalte pedagogiske arbeidet på 1. år bachelor idrett også hatt emneansvar og undervisning for emner på 2. år bachelor idrett, samt veilederansvar for studenter som har skrevet bacheloroppgaver på 3. år bachelor idrett. For 2. og 3. år bachelor idrett velger jeg å avgrense meg til kun å omtale pedagogisk arbeid som drar veksler på min idrettsfysiologiske forskningserfaring.

På 2. år bachelor idrett har jeg f.o.m. høsten 2007 vært emneansvarlig for 15 sp- emnet Fysisk aktivitet og helse 1. For alle årene har jeg undervist i temaene muskel- skjelettlidelser, luftveislidelser, hjerte- lungeredning og livredning. I de første årene underviste jeg i tillegg i temaene forebyggende helsearbeid og hjerte- kar- sykdom. For noen år siden utformet jeg arbeidskrav der studentene under veiledning av fikk samle inne relevante fysiologiske data for påvisning av diabetes, hjerte- kar- sykdom og luftveislidelser. Datainnsamlingene inkluderte bl.a. målinger av blodglukose, blodtrykk, beregninger av fettprosent ved hudkaliper og spirometri. Forskningsmetodene brukt i artikkel 1 "Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level" har vært særlig viktige for opparbeiding av kompetanse til å kunne integrere målemetodene i emnets arbeidskrav. I undervisningen om muskelskjelett- lidelser har jeg de siste årene anvendt EMG- målinger. Særlig fruktbart har det vært å anvende slike målinger for å synliggjøre hvordan muskelbruk påvirkes av ulike ergonomiske justeringer. Ved slike undervisningssekvenser har studentene fått erfaringer både med å klargjøre utstyr, utføre målinger og være med å gjøre enkle analyser av data. Forskningsmetodene brukt i artikkelutkastet «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» (Vegge et al, det andre av de to artikkelutkastene) har vært særlig viktige for opparbeiding av kompetanse til å kunne integrere EMG- målinger i undervisningen.

På 3. år bachelor idrett har jeg veiledet studentgrupper som har skrevet bacheloroppgaver (15 sp) innenfor temaene ernæringsinntak og utholdenhetsprestasjon; akutte effekter av vibrasjon på 1 RM- prestasjon; nakke- og skulderplagers relasjon til evne til rask økning av muskelaktivitet og kraft; intervalltrenings effekt på muskelaktivering, arbeidsøkonomi og sykkelprestasjon; luftveislidelser hos skiløpere og ballspillutøvere. Ved veiledningen av studentene på 3. år bachelor idrett hadde jeg særlig stor nytte av kompetansen jeg tilegnet meg gjennom forskningsarbeidene «Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level» (Vegge et al 2012, vedlegg 6) og «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» (Vegge et al, artikkelutkast).

## 8 Idrettsfysiologiske forskningsarbeider

Ved Høgskolen i Lillehammer (HiL) har bachelorgraden for idrett en utpreget idrettsfysiologisk profil. Denne profilen er også tydelig for idrettsseksjonens forskningsvirksomhet. Høgskolen har et godt utstyrt laboratorium med muligheter for mange typer fysiologiske målinger, og seksjonen består av engasjerte personer med høy faglig kompetanse innen idrettsfysiologisk forskning. Det engasjerende miljøet og de gode fasilitetene har gjort det naturlig å både selv sette i gang idrettsfysiologiske forskningsprosjekt og å bidra i prosjekt som er initiert av- eller i samarbeid med andre. For alle mine publiserte forskningsarbeider har vi vært flere som har jobbet sammen. Dette har vært stimulerende og lærerikt, samtidig som det også har vært nødvendig grunnet det store antallet målevariabler som datainnsamlingene har omfattet. Gjennom de omfattende datainnsamlingene har jeg tilegnet meg kompetanse i bruk av et stort antall idrettsfysiologiske forskningsmetoder. Nedenfor vil jeg for hver artikkel beskrive hovedinnhold, min egen rolle og de idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetodene jeg hadde ansvaret for.

### 8.1 Publiserte artikler

Nedenfor presenterer jeg de syv artiklene jeg sammen med kolleger har publisert i internasjonale fagfelleverderte tidsskrift. Artiklene favner om følgende tema innen idrettsfysiologisk forskning:

- Ernærings virkning på utholdenhetsprestasjon og på biomarkører (artikkel 1)
- Styrketrenings virkning på idrettsprestasjon og på biomarkører (artikkel 2, 4 og 7)
- Utp prøving av en ny metode for bestemmelse av muskelfibertypesammensetning (artikkel 3)
- Utholdenhetstrenings virkning på idrettsprestasjon og på biomarkører (artikkel 5)
- Sammenlikning av styrke- og utholdenhetstrenings virkning på utvalgte biomarkører (artikkel 6)

#### Artikkel 1

##### Formelle opplysninger

Vegge, Geir; Rønnestad, Bent Ronny; Ellefsen Stian. Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. Journal of the International Society of Sports Nutrition 2012; Volum 9 (14), 10 s (vedlegg 6). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

##### Beskrivelse av hovedinnhold

I artikkelen ble det undersøkt om næringsinnholdet man inntar under et standardisert langvarig utholdenhetsarbeid på sykkel påvirker idrettslig prestasjonsevne under en umiddelbart etterfølgende 5- minutters «all- out- test». Undersøkelsen var en akutt- studie der 12 syklister deltok. Det ble for hver forsøksperson gjennomført tilvenningstester samt samlet inn data på tre randomiserte testdager, én dag for hver type næringsinnhold som ble inntatt. Idrettslig prestasjonsevne ble målt som evne til watt- produksjon. I studien ble det også gjort målinger av arbeidsøkonomi og evne til å ta opp oksygen, samt av flere typer blodverdier. Studiens hovedfunn var at det for utøverne samlet ikke ble funnet forskjeller i idrettslig

prestasjonsevne mellom de tre næringsinntakene. For personer med de laveste prestasjonsnivåene ble det imidlertid funnet en bedret prestasjonsevne på dager med inntak av en drikk bestående av hydrolysert marint protein blandet med protein og karbohydrat sammenliknet med dagene der det ble inntatt en drikk bestående av enten kun karbohydrater eller en blanding av karbohydrater og protein.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Gjennomføre mye av datainnsamlingen, med betydelige bidrag også fra andre personer
- Plotte og analysere data
- Tolke dataene og utarbeide manuskriptet i samarbeid med de to medforfatterne
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av oksygenopptak ved standardiserte submaksimale belastninger, målinger av  $VO_2$ -maks, blodprøvetaking ved fingerstikk (både laktat og glukose, samt flere andre blodverdier gjennom bruk av apparaturen I-stat), samt målinger av hjerterefrekvens.

## **Artikkel 2**

### Formelle opplysninger

Hansen, Ernst A.; Rønnestad, Bent Ronny; Vegge, Geir; Raastad, Truls. Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training. International Journal of Sports Physiology and Performance 2012; Volum 7 (4) s.313-321 (vedlegg 7). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen undersøkes det om kraftutviklingen i ulike faser av sykkeltråkket påvirkes av en intervensjonsperiode med tung styrketrening for bena. Undersøkelsen innebar testing av 18 syklister før og etter en 12- ukers intervensjonsperiode. I intervensjonsperioden var syklistene delt i to grupper hvorav den ene halvparten bare trente utholdenhet (primært sykling) og den andre trente både utholdenhet (primært sykling) og styrketrening. Kraftutviklingen i tråkket ble målt ved bruk av en avansert ergometersykkel (Lode Excalibur Sport) som registrerte dreiemomentet (torque) som ble utviklet i hver fase av sykkeltråkket. I løpet av hver omdreiningssyklus (360 grader) var sykkelen forhåndsprogrammert til å gjøre 180 registreringer, én for hver 2. grad. Studiens hovedfunn var at syklister som trente styrke i løpet av 12- ukers- perioden reduserte den andelen av omdreiningssyklusene der det ble utviklet et negativt dreiemoment mellom fot og pedal med 14 %, noe som var en større reduksjon enn kontrollgruppa hadde ( $p= 0.002$ ). I løpet av 12- ukers perioden hadde styrketreningsgruppa også en høyere prestasjonsutvikling på en 5- minutters all- out- test som etterfulgte et standardisert langvarig sykkelarbeid ( $p= 0.02$ ).



### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i noe av datainnsamlingen, dog bare mindre bidrag
- Systematisere og analysere alle data for kraftutviklingen mellom fot og pedal (stor datamengde som følge av 180 kraftregistreringer pr ben pr tråksyklus kombinert med lang testvarighet og mange forsøkspersoner)
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for- dog kun for et fåtall av forsøkspersonene

Målinger av  $VO_{2maks}$ , hjertefrekvens og blodprøvetaking ved fingerstikk (laktat).

### **Artikkel 3**

#### Formelle opplysninger

Ellefsen, Stian; Vikmoen, Olav; Zacharoff, Erika; Rauk, Irene; Slettaløkken, Gunnar; Hammarström, Daniel; Strand, Tor A; Whist, Jon Elling; Hanestadhaugen, Marita; Vegge, Geir; Fagernes, Cathrine Elisabeth; Nygård, Håvard; Hollan, Ivana; Rønnestad, Bent Ronny. Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2014; Volum 24 (4) s.332-342 (vedlegg 8). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2- tidsskrift.

#### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen utprøves en ny metode for å måle endringer i muskelfibertypefordeling som følge av trening. I undersøkelsen ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis og M. biceps brachii på 16 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Studiens hovedfunn var at muskelfibertypebestemmelse med den veletablerte metoden immunhistokjemi korrelerte godt med funnene ved den nye metoden som undersøkte mRNA- uttrykket til myosin tung- kjeder ( $r= 0.50, 0.74$  og  $0.78$  for henholdsvis myosin tung- kjede 1, IIA og IIX).

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

#### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuum med vakuum- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

#### **Artikkel 4**

##### Formelle opplysninger

Ellefsen, Stian; Vikmoen, Olav; Slettaløkken, Gunnar; Whist, Jon Elling; Nygård, Håvard; Hollan, Ivana; Rauk, Irene; Vegge, Geir; Strand, Tor A; Raastad, Truls; Rønnestad, Bent. Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women. European Journal of Applied Physiology 2014; Volum 114 (9) s. 1875-1888 (vedlegg 9). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

##### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen brukes den analysemetoden av muskelvev som ble utprøvd i artikkel 3, samt metoden immunhistokjemi. I undersøkelsen ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis og M. biceps brachii på 18 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Studiens hovedfunn var at trening ikke påvirket muskelens uttrykk av FNDC5 eller blodets konsentrasjon av irisin.

##### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

#### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuum med vakuum- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

#### **Artikkel 5**

##### Formelle opplysninger

Rønnestad, Bent Ronny; Hansen, Joar; Vegge, Geir; Tønnessen, Espen; Slettaløkken, Gunnar.

Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 2015; Volum 25 (2) s.143-151 (vedlegg 10). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble det undersøkt om idrettslig prestasjonsevne ble påvirket av om intervalltrening i løpet av en 10- ukers- periode ble utført som kortintervall (30 sekunders innsatsperioder) eller langintervall (4 minutters innsatsperioder). I studien ble det kontrollert for at begge grupper trente like lenge i hver intensitetssone (3- delt inndeling av intensitetssoner). Undersøkelsen innebar testing av 16 utøvere både før og etter treningsperioden. Idrettslig prestasjonsevne ble målt som evne til watt- produksjon og som evne til å ta opp oksygen. Studiens hovedfunn var at syklister som trente kortintervall fikk en høyere økning i  $VO_{2max}$  fra pre- til post- test enn de som trente langintervall (henholdsvis 8.7 % vs 2.6 %,  $p \leq 0.05$ ), samt at de fikk en høyere økning for både  $W_{max}$  og prestasjon på en 40 minutters all- out- test ( $p \leq 0.05$ ).

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for

Målinger av  $VO_2$  ved submaksimale og maksimale belastninger, samt målinger av hjertefrekvens.

## **Artikkel 6**

### Formelle opplysninger

Nygaard, Håvard; Slettaløkken, Gunnar; Vegge, Geir; Hollan, Ivana; Whist, Jon Elling; Strand, Tor; Rønnestad, Bent; Ellefsen, Stian. Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training. PLoS ONE 2015; Volum 10 (3), 12 s (vedlegg 11). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble det undersøkt hvordan hormonet irisin påvirkes av fysisk aktivitet. I undersøkelsen deltok 9 moderat trente forsøkspersoner som det ble tatt blod- og muskelvevsprøver fra. For hver av dem ble det samlet inn data på tre ulike dager. Den ene dagen hadde forsøkspersonene vært så inaktive som praktisk mulig, en annen dag hadde de gjennomført en hard styrketreningsøkt og en tredje dag hadde de gjennomført en hard utholdenhetstreningsøkt. Målingene ble gjort på standardiserte tidspunkt. Muskelvev ble samlet inn fra M. vastus lateralis ved bruk av mikrobiopsimetode. Hovedfunn: Både styrketreningsøkter og utholdenhetstreningsøkter førte til kortvarige økninger av irisinkonsentrasjon i blod. Personer med lav fettprosent hadde en lavere irisinrespons etter

styrketrening, men ikke etter utholdenhetstrening, sammenliknet med personer med høyere fettprosent. For FNDC5, ved beregninger med analysemetoden som ble uttestet i artikkel 3, ble det ikke funnet noen effekt av verken styrketrening eller utholdenhetstrening.

#### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

#### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Å ta mikrobiopsier fra muskel ved bruk av mikrobiopsisystemet Bard Magnum, Reusable Core med nåler à størrelse 14 gauge samt for en del tilfeller bistå en annen biopsør ved prøvetakingene (med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.).

### **Artikkel 7**

#### Formelle opplysninger

Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, Zacharoff E, Whist JE, Rauk I, Nygaard H, Vegge G, Hanestadhaugen M, Wernbom M, Cumming KT, Rønning R, Raastad T and Rønnestad BR. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2015; Volum 309 (7), s.767-779 (vedlegg 12). I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2- tidsskrift.

#### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen brukes den analysemetoden av muskelvev som ble utprøvd i artikkel 3, samt metoden immunhistokjemi. I studien ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis (begge ben) på 15 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Det ble også både før og etter intervensjonen tatt blodprøver for hormonanalyser og foretatt beregninger av muskeltverrsnittet til Quadriceps- muskulaturen ved bruk av MR. I hele 12- ukers- perioden trente kvinnene tradisjonell tung styrketrening for det ene benet mens de for det andre benet trente okklusjons- styrketrening. Okklusjons- styrketreningen ble utført ved at det rundt benet/ arbeidende muskulatur ble påsatt en trykkmansjett som reduserte den venøse tilbakestrømmingen av blodet i muskelen og som medførte at treningen ble utført med atskillig lavere ytre belastning sammenliknet med tradisjonell tung styrketrening. Etter 12 ukers trening var både framgangen i maksimal styrke og økningen i muskeltverrsnitt til Quadriceps- muskulaturen tilnærmet lik for begge ben.

#### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre

- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuum med vakuum- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

## **8.2 Utkast til artikler**

I samarbeid med kolleger har jeg også utarbeidet to artikkelutkast som er planlagt å publisere i internasjonale fagfelleverderte tidsskrift. Arbeidene presenteres nedenfor.

### **Artikkelutkast 1**

#### Formelle opplysninger

Mujika I, Vegge G, Hansen J og Rønnestad BR. Short- term performance peaking in an elite cross- country mountain biker, 18 sider. Artikkelutkastet er vår versjon etter at det har vært gjennom prosessen “minor revision” i tidsskriftet Journal of Sports Sciences. I 2015 er tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

#### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble effektene av en kortere formtoppingsperiode enn det som tradisjonelt brukes i sykling undersøkt. Artikkelen var en case- study av en mannlig toppsyklist og inneholder resultater fra både prestasjonsmålinger og fysiologiske målinger. I studien inngikk også en kontrollperson. Undersøkelsens hovedfunn var at en kort formtoppingsperiode (7 dager med økt treningsbelastning som inneholdt daglig høyintensitetstrening etterfulgt av 5 dager med lav treningsbelastning) førte til en vellykket formtopping og en vellykket konkurranseprestasjon. Også resultatene fra prestasjonstestene underveis i formtoppingsperioden samt resultatene fra de fysiologiske testene som ble foretatt, peker i retning av et vellykket formtoppingsopplegg. Dagen etter avslutningen av 7- dagersperioden med økt treningsbelastning var den gjennomsnittlige EMG- aktiviteten for M. vastus medialis og M. vastus lateralis redusert med henholdsvis 3 og 7 %. Andre baseline- verdier var også redusert med 3- 7 %. På dag 4 etter 7- dagersperioden oppga utøveren at bena kjentes gode og alle målinger var 3- 7 % høyere enn de var før 7- dagersperioden. På dag 6 etter 7- dagersperioden (dvs. konkurransedagen) oppga utøveren at bena føltes veldig gode og utøveren oppnådde sesongens klareste seier i norgescupen.

#### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Plotte og analysere data, samt utarbeide figurer

- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av muskelaktivitet ved bruk av Telemetry DTS wireless system fra Noraxon samt bidra under målinger av oksygenopptak ved standardiserte submaksimale belastninger og målinger av VO<sub>2</sub>-maks.

## **Artikkelutkast 2**

### Formelle opplysninger

Vegge Geir, Paulsen Gøran, Rønnestad Bent Ronny. Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading, 20 sider.

Artikkelutkastet er planlagt innsendt til et internasjonalt fagfelle-vurdert tidsskrift i løpet av kort tid.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» undersøkes akutte effekter av vibrasjon i øvelsen kneekstensjon. I studien deltok 17 utrente kvinner som hver gjennomførte to tilvenningsøkter i tillegg til testingen som ble utført på de to testdagene. Innholdet i hver av testdagene var like bortsett fra at målingene den ene dagen ble utført med vibrasjonspåvirkning (31 Hz) og den andre dagen ble utført uten slik påvirkning. På begge testdagene ble muskelaktiviteten målt med EMG- elektroder festet på M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. rectus femoris og M. biceps femoris. Studiens hovedfunn: Det var en tendens til økning i 1RM- prestasjon på dagen med vibrasjonspåvirkning ( $p=0.063$ ), og vibrasjonen medførte en klar økning i EMG-signalenes størrelse (for alle målte muskler;  $p<0.001$ ). Et sentralt funn var også at det ikke ble funnet noen sammenheng mellom vibrasjonsinduserte endringer i EMG for løft med tunge og lette vekter.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Lede og gjennomføre datainnsamlingen. I datainnsamlingen bidro også studenter på 3. år bachelor idrett, som brukte deler av datasettet i sine bacheloroppgaver.
- Plotte og analysere data
- Tolke dataene og utarbeide manuskriptet. Medforfatterne har gitt tilbakemeldinger på manuskriptet, som snart er klart for å bli submittet.

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av muskelaktivitet, akselerasjon og leddvinkler ved bruk av Telemetry DTS wireless system fra Noraxon samt gjennomføre 1RM- tester.

## 9 Ekstern formidling

På internasjonale forskningskonferanser har jeg holdt to fagforedrag og hatt én poster-presentasjon:

- i) Poster presentation på konferansen ECSS i Tyrkia, juni 2010. Tittel: Ingestion of hydrolysed protein improves all-out performance after prolonged submaximal cycling (vedlegg 14).
- ii) Oral presentation på konferansen ICST i Oslo, oktober 2012. Tittel: Acute effects of vibration on 1RM performance during knee extension exercise.
- iii) Oral presentation på konferansen ICST i Abano Terme, Italia, oktober 2014. Tittel: Acute effects of vibration on muscle activation during high and low loading (vedlegg 15).

Her er en oversikt over øvrige eksterne bidrag, hvorav flere av dem er registrert i det nasjonale forskningsinformasjonssystemet (Cristin 2015):

- iv) To fagforedrag på konferanse om fysisk aktivitet og måltider i skolen i Karasjok 22.-23. januar 2007, der målgruppen primært var lærere som underviste i kroppsøving og idrettsfag.
- v) Fagforedrag på "Friskis & Svettis" sine RØRIS- kurs for grunnskolelærere i Oppland i 2009 og 2010. Tittel: Tilrettelegging og motivering til økt fysisk aktivitet for barn og unge.
- vi) Radiointervju à 4 minutter på NRK P1 Hedmark og Oppland april 2010. Tema: barfotløping.
- vii) Fagforedrag ved idrettsutdanning i Amsterdam, desember 2012.
- viii) Kort foredrag på studiekvalitetsdagene ved HiL 6. oktober 2014. Tittel: Arbeidskrav der studenter får smake på forskerrollen.
- ix) Intervju i avisen «Dagens Næringsliv» 27. august 2015 om hva slags ernæring som er optimal for prestasjon i langvarige sykkelritt, som for eksempel Birkebeinerrikket.

## 10 Oppsummering

Profileringsdokumentet har redegjort for mine forsknings- og utviklingsarbeid. I det første kapitlet beskrev jeg dokumentets formål og oppbygning. I kapittel to redegjorde jeg for mitt pedagogiske arbeid i vg. skole, der jeg underviste i syv år hvorav jeg i tre av årene også var fagleder for idrettsfag. I kapittel tre tok jeg for meg mine tre år som høskolelektor ved Høgskolen i Finnmark med vekt på mine undervisningserfaringer fra førskolelærerutdanningen og praktisk- pedagogisk utdanning og mitt bidrag i utarbeidingen av en ny fagplan for høgskolens praktisk- pedagogiske utdanning. I kapittel fire beskrev jeg mine viktigste erfaringer fra mine første jobbår ved HiL, mens jeg i kapittel fem presenterte 1.lektorprogrammet som jeg har gjennomført. I det sjette kapitlet redegjorde jeg for mitt arbeid med å utvikle temaområdet treningslære og bevegelseslære på 1. år bachelor idrett for å gi best mulig læring for studentene. I redegjørelsen viste jeg både hvordan studentevalueringer og min stadig økende idrettsfysiologiske og forskningsmetodiske kompetanse var integrert i dette arbeidet. I kapittel syv ga jeg et kort innblikk i mine ansvarsområder innen øvrige studieår på bachelorgraden i idrett mens jeg i kapittel 8 redegjorde for mine syv idrettsfysiologiske publiseringer i internasjonale fagfelleverderte tidsskrift samt for mine to artikkelutkast. Mine presentasjoner på internasjonale forskningskonferanser samt øvrige eksterne presentasjoner ble listet opp i kapittel 9.

Gjennom profileringsdokumentet mener jeg å vise at jeg tilfredsstillende de krav Kunnskapsdepartementet stiller til ansettelse og opprykk til 1.lektor (Regjeringen 2006) og søker gjennom dette dokumentet med tilhørende vedlegg om opprykk til 1.lektorkompetanse.



# KILDELISTE

Bandura A. 1997. *Self- efficacy: The exercise of control*. New York, W.H. Freeman and Company.

Biggs J & Tang C. 2007. *Teaching for Quality Learning at University: What the students does*. 3th ed. McGraw-Hill Society for Research into Higher Education and Open University press.

Bruner J. 2006. *The Process of education*. I *Konstruktivistiske rødder og grene- en antologi*. Redigert av Andersen P & Madsen C. Kapittel 2. København, Unge pædagoger.

Cristin. 2015. *Det nasjonale forskningsinformasjonssystemet*. Hentet 17. desember 2015. <https://www.cristin.no/as/WebObjects/cristin.woa/wa/fres?sort=ar&pnr=338865&la=no&action=sok>

Dewey J. 1897. *My Pedagogic Creed*. School Journal vol. 54.

Ellefsen S., Vikmoen O., Slettaløkken G., Whist J.E., Nygård H., Hollan I., Rauk I., Vegge G., Strand T.A., Raastad T., Rønnestad B.R. 2014. *Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women*. European Journal of Applied Physiology; Volum 114 (9) s. 1875-1888.

Ellefsen S., Vikmoen O., Zacharoff E., Rauk I., Slettaløkken G., Hammarström D., Strand T.A., Whist J.E., Hanestadhaugen M., Vegge G., Fagernes C.E., Nygård H., Hollan I., Rønnestad B.R. 2014. *Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction*. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports; Volum 24 (4) s.332-342.

Ellefsen S., Hammarström D., Strand T.A., Zacharoff E., Whist J.E., Rauk I., Nygaard H., Vegge G., Hanestadhaugen M., Wernbom M., Cumming K.T., Rønning R., Raastad T., Rønnestad B.R. 2015. *Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training*. American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 2015; Volum 309 (7), s.767-779.

Hansen E.A., Rønnestad B.R., Vegge G., Raastad T. 2012. *Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training*. International Journal of Sports Physiology and Performance; Volum 7 (4) s.313-321.

Hattie J. 2011. *Visible learning for teachers: maximizing impact of learning*. Routledge.

Lovdata. 2013. *Forskrift om tilsyn med utdanningen i høyere utdanning*. Hentet 10. desember 2015. [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-02-28-237/KAPITTEL\\_10-9-2?q=1%C3%A6ringsutbyttebeskrivelse#KAPITTEL\\_10-9-2](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-02-28-237/KAPITTEL_10-9-2?q=1%C3%A6ringsutbyttebeskrivelse#KAPITTEL_10-9-2)

Marzano R., Marzano J.S., Pickering D. 2003. *Classroom Management: Research- Based Strategies for Every Teacher*. New Jersey Pearson Education Inc.

Mujika I., Vegge G., Hansen J. Rønnestad B.R. *Short- term performance peaking in an elite cross- country mountain biker*. Artikkelutkastet er forfatterens versjon etter at det har vært gjennom prosessen “minor revision” i tidsskriftet Journal of Sports Sciences. 18 sider.

NSD. 2015. *Database for statistikk om høgre utdanning*. Hentet 13. desember 2015.  
[http://dbh.nsd.uib.no/statistikk/rapport.action?visningId=130&visKode=false&columns=arstall!8!opptakstype&index=5&formel=280!8!282&hier=insttype!9!instkode!9!fakkode!9!ufakkode!9!progkode&sti=Statlige%20h%C3%B8yskoler!9!H%C3%B8gskolen%20i%20Lillehammer!9!Avdeling%20for%20samfunnsvitenskap!9!Avdeling%20for%20samfunnsvitenskap&param=fakkode%3D540!9!ufakkode%3D000!9!insttype%3D02!9!arstall%3D2014!8!2013!8!2012!8!2011!9!dep\\_id%3D1!9!mott%3D1!9!instkode%3D0263!9!opptakstype%3DN!9!prioritet%3D1](http://dbh.nsd.uib.no/statistikk/rapport.action?visningId=130&visKode=false&columns=arstall!8!opptakstype&index=5&formel=280!8!282&hier=insttype!9!instkode!9!fakkode!9!ufakkode!9!progkode&sti=Statlige%20h%C3%B8yskoler!9!H%C3%B8gskolen%20i%20Lillehammer!9!Avdeling%20for%20samfunnsvitenskap!9!Avdeling%20for%20samfunnsvitenskap&param=fakkode%3D540!9!ufakkode%3D000!9!insttype%3D02!9!arstall%3D2014!8!2013!8!2012!8!2011!9!dep_id%3D1!9!mott%3D1!9!instkode%3D0263!9!opptakstype%3DN!9!prioritet%3D1)

Nygaard H., Slettaløkken G., Vegge G., Hollan I., Whist J.E., Strand T., Rønnestad B.R., Ellefsen S. 2015. *Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training*. PLoS ONE; Volum 10 (3), 12 s.

Potrac P. & Cassidy T. 2006. *The coach as a more capable other*. In R. Jones (ed.) *The sports coach as educator: Reconceptualising sports coaching* (pp. 39-50). London, Routledge.

Regjeringen. 2003. *Rammeplan for Praktisk- pedagogisk utdanning*. Hentet 15. desember 2015.  
[https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/kd/pla/2006/0002/ddd/pdfv/175796-2rammeplan\\_2003\\_ppu.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/kd/pla/2006/0002/ddd/pdfv/175796-2rammeplan_2003_ppu.pdf)

Regjeringen. 2006. *Forskrift om ansettelse og opprykk i undervisnings- og forskerstillinger*. Hentet 10. desember 2015. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/forskrift-om-ansettelse-og-opprykk-i-und/id92640/>

Rosenthal R & Jacobsen L. 1968. *Pygmalion in the Classroom: Teacher Expectation and Pupils` Intellectual Development*. Irvington Publishers Inc.

Ryan RM & Deci EL. 2002. *Handbook of Self-Determination Research*. University of Rochester Press.

Rønnestad B.R., Hansen J., Vegge G., Tønnessen E., Slettaløkken G. 2015. *Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach*. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports; Volum 25 (2) s.143-151.

Schön D. 1983. *The Reflective Practitioner: How Professionals think in action*. Basic Books, Printed in the United States of America.

Tyler R. 1949. *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. The University of Chicago Press.

Vegge G., Rønnestad B.R., Ellefsen S. 2012. *Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level*. Journal of the International Society of Sports Nutrition; Volum 9 (14), 10 s.

Vegge G., Paulsen G., Rønnestad B.R. *Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading*. Artikkeltkastet er planlagt innsendt til et internasjonalt fagfelleurdert tidsskrift i løpet av kort tid. 20 sider.

Vygotsky L. 1978. *Mind in Society: The development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, Massachusetts. London, England. Harvard University Press.



# VEDLEGGSOVERSIKT

## **Faglig- pedagogiske utviklingsarbeid**

Vedlegg 1: Plan for PPU ved Høgskolen i Finnmark 2006/ 2007; 2007/2008

Vedlegg 2: Læringsmåldokumenter for emnene Anatomi & bevegelseslære og Treningslære studieåret h14/v15

Vedlegg 3: Kompendium i matematikk og grunnleggende biomekanikk i emnet Anatomi & bevegelseslære studieåret h14/v15

Vedlegg 4: Bearbejdede idrettsfysiologiske studentdata for bruk i undervisningen

Vedlegg 5: Det individuelle spørreskjemaet som ble brukt i evalueringen av emnet Anatomi & bevegelseslære studieåret h14/v15.

## **Publiserte vitenskapelige artikler**

Vedlegg 6: Vegge G., Rønnestad B.R., Ellefsen S. *Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level.* Journal of the International Society of Sports Nutrition 2012; Volum 9 (14), 10 s.

Vedlegg 7: Hansen E.A., Rønnestad B.R., Vegge G., Raastad T. *Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training.* International Journal of Sports Physiology and Performance 2012; Volum 7 (4) s.313-321.

Vedlegg 8: Ellefsen S., Vikmoen O., Zacharoff E., Rauk I., Slettaløkken G., Hammarström D., Strand T.A., Whist J.E., Hanestadhaugen M., Vegge G., Fagernes C.E., Nygaard H., Hollan I., Rønnestad B.R.

*Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction.* Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 2014; Volum 24 (4) s.332-342.

Vedlegg 9: Ellefsen S, Vikmoen O., Slettaløkken G., Whist J.E., Nygaard H., Hollan I., Rauk I., Vegge G., Strand T.A., Raastad T., Rønnestad B.R. *Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women.* European Journal of Applied Physiology 2014; Volum 114 (9) s. 1875-1888.

Vedlegg 10: Rønnestad B.R., Hansen J., Vegge G., Tønnessen E., Slettaløkken G. *Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach.* Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 2015; Volum 25 (2) s.143-151.

Vedlegg 11: Nygaard H., Slettaløkken G., Vegge G., Hollan I., Whist J.E., Strand T.A., Rønnestad B.R., Ellefsen S. *Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training*. PLoS ONE 2015; Volum 10 (3), 12 s.

Vedlegg 12: Ellefsen S., Hammarström D., Strand T.A., Zacharoff E., Whist J.E., Rauk I., Nygaard H., Vegge G., Hanestadhaugen M., Wernbom M., Cumming K.T., Rønning R., Raastad T., Rønnestad B.R. *Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training*. American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology; Volum 309 (7), s.767-779.

### **Bekreftelser av roller**

Vedlegg 13: Bekreftelser av mine roller i arbeidet med publikasjonene og artikkelutkastene

### **Vedlagte presentasjoner fra internasjonale forskningskonferanser**

Vedlegg 14: Vegge G., Ellefsen S., Rønnestad B.R. *Ingestion of hydrolysed protein improves all-out performance after prolonged submaximal cycling*. European College of Sports Science; 2010-06-23 - 2010-06-26 (Poster session)

Vedlegg 15: Vegge G., Rønnestad B.R., Paulsen G. *Acute effects of vibration on muscle activation during high and low loading*. 9th International Conference on Strength Training; 2014-10-23 - 2014-10-25 (Oral speaker)

### **Kommentarer til utvelgelsen av vedlegg**

Jeg har valgt å ikke legge ved mine to artikkelutkast siden internasjonale fagfelleverderte tidsskrift har regler om at manus som sendes dem fra før av skal være upubliserte. Grunnen til at jeg ikke har lagt ved manuset jeg sendte inn til konferansen 8th International Conference on Strength Training, 2012-10-26 (Oral speaker), er at antallet vedlegg da ville oversteget 15, som er det maksimale antallet vedlegg jeg får legge ved en 1.lektorsøknad.

HØGSKOLEN I FINNMARK

FAGPLAN  
for  
Praktisk -pedagogisk  
utdanning

30 stp. pedagogikk

30 stp. fagdidaktikk/ yrkesdidaktikk

2006/2007

2007/2008

1 Lærerutdanning .....	4
2 Praktisk- pedagogisk utdanning .....	6
2.1 Innledning.....	6
2.2 Mål for studiet .....	6
2.3 Målgruppe og opptakskrav .....	6
2.4 Studiets oppbygging .....	6
2.5 Læringsformer, inkludert IKT .....	7
2.6 Løpende skikkethetsvurdering .....	8
2.6.1 Forskrift om skikkethetsvurdering i lærerutdanningene .....	8
2.6.2 Retningslinjer for løpende skikkethetsvurdering i lærerutdanningene.....	10
2.6.3 Retningslinjer ved manglende oppfylte arbeidskrav og/eller manglende deltakelse i obligatoriske læringsaktiviteter i lærerutdanningene .....	11
2.7 Praksis .....	13
2.7.1 Innledning.....	13
2.7.2 Organisering av praksis .....	13
2.7.3 Mål, innhold og arbeidskrav i praksis .....	14
2.7.4 Praksis i første studieår .....	15
2.7.5 Praksis andre studieår yrkes- eller fagdidaktikk .....	15
2.7.6 Tilstedeværelse i praksis .....	15
2.7.7 Veiledning i praksis.....	16
2.7.8 Vurdering .....	17
2.7.9 Tvil om bestått praksis .....	17
2.7.10 Utsatt eller Ikke bestått praksis .....	17
2.7.11 Taushetsplikt .....	18
2.8 På tvers av fag/fagområder innenfor Praktisk-pedagogisk utdanning .....	18
2.8.1 Opplæringen skal samlet dekke de fem kompetanseområdene.....	18
2.8.2 Samiske emner i samsvar med gjeldende læreplaner .....	19
2.8.3 IKT som hjelpemiddel for kommunikasjon og læring i alle fag .....	19
2.8.4 Arbeidsformer som fremmer entreprenørskap .....	19
2.8.5 Læreren som leder og samarbeidspartner.....	19
2.8.6 Sammenheng mellom praksis og pedagogisk teori i lærerutdanningen .....	20
2.8.7 Sammenheng mellom allmennfag og yrkesopplæring i videregående opplæring ..	20
2.8.8 Samarbeid med arbeids- og yrkesliv, foreldre/foresatte og ulike instanser som har ansvar for barn og unges oppvekst og læringsmiljø.....	20
2.8.9 Litteratur .....	21
3 Pedagogikk, 1. studieår .....	21
3.1 Pedagogikk- 30 studiepoeng .....	21
3.1.1 Modul 1: Elevens læring og utvikling.....	22
3.1.2 Modul 2: Lærerenes yrkesforståelse, kompetanse og egenutvikling .....	22
3.1.3 Modul 3: Skolen i et organisasjons- og samfunnsperspektiv .....	23
3.2 Formativ vurdering.....	23
3.2.1 Arbeidskrav .....	23
3.3 Summativ vurdering.....	23
3.4 Litteratur .....	23
4 Fagdidaktikk allmennfag, 2. studieår .....	23
4.1 Felles fagdidaktikk for allmennfag- 10 studiepoeng.....	24



4.1.1 Modul 1: Lov, plan og undervisning .....	24
4.1.2 Modul 2: Skolesamfunnet i endring .....	25
4.2 Fagdidaktikk i kroppøving og idrettsfag – 20 studiepoeng .....	26
4.2.1 Modul 1: Kroppsøvingsfagets egenart, utvikling og legitimering .....	26
4.2.2 Modul 2: Utviklingsarbeid og planarbeid .....	27
4.2.3 Modul 3: Tilrettelegging og gjennomføring av undervisning .....	27
4.2.4 Modul 4: Vurdering og veiledning.....	27
4.3 Fagdidaktikk i fremmedspråk – 20 studiepoeng .....	28
4.3.1 Modul 1: Teorier, metoder og språkundervisning.....	28
4.3.2 Modul 2: Kommunikativ språkundervisning .....	28
4.3.3 Modul 3: Utvikling av språkferdigheter.....	29
4.3.4 Modul 4: Planlegging og evaluering .....	29
4.4 Fagdidaktikk i samfunnsfag – 20 studiepoeng.....	29
4.4.1 Modul 1: Samfunnsfagenes historie og samfunnsfaglige verdier .....	30
4.4.2 Modul 2: Utviklings- og planarbeid .....	31
4.4.3 Modul 3: IKT i samfunnet og IKT i skolen .....	31
4.4.4 Modul 4: Tilrettelegging, gjennomføring og vurdering av undervisning og læreprosesser .....	31
4.5 Formativ vurdering.....	32
4.5.1 Arbeidskrav .....	32
4.6 Summativ vurdering.....	33
4.7 Litteratur.....	33
5 Yrkesdidaktikk, 2. studieår.....	33
5.1 Yrkesdidaktikk - 30 studiepoeng.....	33
5.1.1 Modul 1: Yrkesdidaktisk kompetanse, 10 stp. ....	33
5.1.2 Modul 2: Læreren og organisasjonen, 5 stp. ....	34
5.1.3 Modul 3: Læreren og samfunnet, 5 stp. ....	34
5.1.4 Modul 4: Organisering og ledelse av yrkesopplæring i skolen, 10 stp. ....	34
5.2 Formativ vurdering.....	35
5.2.1 Arbeidskrav .....	35
5.3 Summativ vurdering.....	36
5.4 Litteratur.....	36

# 1 Lærerutdanning

## KAPITTEL 1 OM LÆRERUTDANNINGENE

Formålet med lærerutdanningene blir uttrykt slik i Lov om høyskoler og universiteter § 54 a:

Lærerutdanning skal gjennom undervisning, forskning og faglig utviklingsarbeid gi den faglige og pedagogiske kunnskap og praktiske opplæring som er nødvendig for planlegging, gjennomføring og vurdering av undervisning, læring og oppdragelse. Utdanning skal ta utgangspunkt i ulike forutsetninger hos elever og barnehage barn og skal være i samsvar med målene for det opplæringsnivå den sikter mot. Utdanningen skal fremme studentenes personlige utvikling og yrkesetiske holdning, utvikle evne til refleksjon, vekke interesse for faglig og pedagogisk utviklingsarbeid som er relevant for arbeid i skole og barnehage, og gi forståelse for sammenhengen mellom læreryrket og opplæringssystemets funksjon i samfunnet.

Å være lærer: Den avgjørende faktor i forhold til sikring av kvalitet i skole og barnehage er læreren. Kjernen i en lærers profesjonskompetanse er:

Fagkompetanse – den faglige kunnskapen som er nødvendig for å arbeide i det enkelte skoleslag.

Didaktisk kompetanse – kunne legge til rette utviklings- og læringsprosesser

Sosial kompetanse – kunne lede og organisere virksomheten

Endrings- og utviklingskompetanse – være i stand til å tenke nytt og vurdere sitt arbeid

Yrkesetisk kompetanse – møte barn og foreldre med ulik bakgrunn.

Å bli lærer: Lærerutdanning er krevende. Studentene skal utvikle mange typer kompetanse og arbeid med læring i forskjellige sammenhenger. For å utvikle de ulike sidene ved en lærers yrkeskunnskap, må utdanningen utfordre studentene i ulike situasjoner. I lærerutdanningene legges det opp til at læringsarbeidet foregår i praksisfeltet, i fagstudiet og i veiledningssituasjoner. For at studentene skal utvikle seg til handlekraftige lærere med en god forankring i yrkeskunnskap, må utdanningen legge til rette for læringsaktiviteter der muligheter for samhandling, utforskning og refleksjon er sentralt, og der studenten deltar i planleggingen av aktivitetene.

Lærerutdanning i Finnmark og læreridentitet . Finnmark er en del av en region som tradisjonelt er flerkulturell. Samisk, kvensk/finnsk og norsk kultur har levd side om side, blitt blandet og revitalisert gjennom historien. Innvandring fra Russland og flyktninger fra andre deler av verden er også nå mer synlig i vår region.

I denne situasjonen skal utdanningsinstitusjonen bidra til kunnskapsbevaring og kunnskapsutvikling, og gjøre studentene til kompetente deltakere i samfunnet. I denne sammenheng er kultur og identitet sentrale begrep. Utdanningen skal bidra til den enkeltes identitetsutvikling, slik at han/hun føler seg positivt knyttet til det samfunn han/hun beveger seg i.

Identitet er et produkt av sosialisering. Kjennskap til lokalsamfunn og sosial og etnisk tilhørighet er viktig.

Selv om skole/barnehage og utdanning representerer det nasjonale, enhetlige, blir lokal tilknytning et viktig utgangspunkt for identitetsdannelse og evne til å bevege seg i et mangfoldig samfunn.

Flerkulturell forståelse forutsetter at vi alle i våre møter viser respekt både for mennesker, natur og miljø. Bearbeiding av forskjeller gjennom samtaler og kulturmøter på tvers av fag og læringsmiljøer vil styrke studentenes kompetanse til å møte de utfordringer som kreves i et samfunn i stadig endring.

Utdanningsplaner.

Kvalitetsreformen legger opp til at hver student skal ha sin utdanningsplan som skisserer valg og studieprogresjon på 60 studiepoeng eller mer. Utdanningsplanen skal fungere som en avtale mellom studenten og institusjonen, og skal administreres fra studiekontoret.

Utdanningsplanene består av en generell del som beskriver regelverk, og en spesifikk del som beskriver obligatoriske og valgfrie fag, vurdering, utenlandsopphold etc., som samlet skal beskrive studentens studieførløp.

Skikkethetsvurdering

Skikkethetsvurdering skal inngå i en helhetsvurdering av studentens forutsetninger for å kunne fungere som lærer. En student som utgjør en fare for barnehagebarns og elevers fysiske og psykiske helse, rettigheter og sikkerhet er ikke skikket for yrket. Alle involverte lærere på det enkelte studiet er ansvarlige for løpende skikkethetsvurdering av studentene gjennom hele studiet. Hvis det er begrunnet tvil om en student er skikket, skal det foretas en særskilt skikkethetsvurdering.

Det gis nærmere informasjon om skikkethetsvurdering ved starten av studiet.

Se forskrift om skikkethetsvurdering og retningslinjer for løpende skikkethetsvurdering i Kap. 2.

Politiattest

Med hjemmel i Lov om høyskoler og universiteter, § 42a og Forskrift om politiattest ved opptak til høyere utdanning, kreves det at søkere til lærerutdanninger legger fram politiattest ved opptak på studiene, tilsvarende den som i lov kreves for yrkesutøvelse. Dette gjelder bl.a. for allmennlærerutdanning, faglærerutdanning, praktisk pedagogisk utdanning og førskolelærerutdanning. Politiattesten skal leveres praksiskonsulent ved studiestart, og senest innen 1. september.

Internasjonalisering

Høgskolen i Finnmark har gjennom handlingsplan for internasjonalisering lagt til rette for at studentene kan ta enkelte deler av utdanningen i utlandet. Oppholdet skal forhåndsgodkjennes som del av studiet, og det har ulik varighet.

For mer informasjon, se Høgskolens hjemmesider. Generelt om internasjonalisering på høgskolens hjemmesider finnes her: <http://www.hifm.no/index.php?ID=831>

Se også <http://www.hifm.no/index.php?ID=999>, som viser Avdeling for pedagogiske og humanistiske fag sine sider for internasjonalisering.

I starten av studiet vil det bli orientert om internasjonalisering.

## 2 Praktisk - pedagogisk utdanning

### 2.1 Innledning

Mål og rammer for praktisk pedagogisk-utdanning er nedfelt i Rammeplan for praktisk-pedagogisk utdanning, fastsatt 03.04.2003 av Utdannings- og forskningsdepartementet.

Ut over Rammeplan for Praktisk-pedagogisk utdanning vil også denne fagplanen bygge på de sentrale prinsipper i kvalitetsreformens intensjoner når et gjelder arbeids- og evalueringsformer (Frihet med ansvar, s 152-156, NOU 2000:14).

Praktisk pedagogisk utdanning består av studieenheter pedagogikk, fag- eller yrkesdidaktikk og praksisopplæring. Rammeplan og fagplan utgjør til sammen det forpliktende arbeidsgrunnlag for høgskolen, lærere og studenter. Det forutsettes at lærere og studenter bruker både rammeplan og fagplan i det daglige arbeid med studiet.

### 2.2 Mål for studiet

Praktisk-pedagogisk utdanning skal kvalifisere for arbeid som lærer i grunnskole på mellom- og ungdomstrinnet, i videregående opplæring og i voksenopplæring.

Arbeidet med målområdene skal sikre et vekselspill mellom praksiserfaringer, didaktisk refleksjon og teoretisk kunnskap.

Studiet har som mål å dyktiggjøre studenten til å kunne planlegge og begrunne, gjennomføre og vurdere undervisning og læring i skole og voksenopplæring. Det skal hjelpe studenten til å utforme sin egen lærerrolle på en kritisk og reflektert måte. Studiet er innrettet mot utvikling av en praktisk rettet lærerkompetanse, dvs. at studenten skal utvikle kompetanse i å organisere og tilrettelegge for læring, undervise og veilede, slik at elevene kan utvikle sin faglige og sosiale kompetanse.

### 2.3 Målgruppe og opptakskrav

Praktisk-pedagogisk utdanning bygger på en av følgende typer utdanningsbakgrunn:

- fullført allmennfaglig universitets- eller høgskoleutdanning av minimum tre års omfang. HIF stiller krav om minimum 60 stp innenfor faget som studenten skal ta fagdidaktikk i.
- fullført treårig profesjonsrettet universitets- eller høgskoleutdanning og minimum to års yrkespraksis
- fag-/eller svennebrev eller annen fullført treårig yrkesutdanning på videregående nivå, generell studiekompetanse, yrkesteoritisk utdanning og minimum to års yrkespraksis.

### 2.4 Studiets oppbygging

PPUA studiet (60 stp) er fordelt over 2 år og består av følgende enheter:

Praktisk pedagogisk utdanning er organisert som et deltids- og samlingsbasert studium på til sammen 60 studiepoeng fordelt over to år.

Studiet består av følgende studieenheter:

- Første studieår: pedagogikk, 30 studiepoeng.
- Andre studieår: fag- eller yrkesdidaktikk, 30 studiepoeng.

### Oppbygging av studiet

Studenter med allmennfaglig bakgrunn har tre forskjellige alternativer for oppbygging av studiet avhengig av fagbakgrunn:

Alternativ 1:

Studieår : Fag:  
1.studieår: Pedagogisk teori (30 stp)  
2.studieår: Kroppsøving og idrett (20 stp) + fellesmoduler (10 stp)

Alternativ 2:

Studieår : Fag:  
1.studieår: Pedagogisk teori (30 stp)  
2.studieår: Fremmedspråk (20 stp) + fellesmoduler (10 stp)

Alternativ 3:

Studieår : Fag:  
1. studieår: Pedagogisk teori (30 stp)  
2.studieår: Samfunnsfag (20 stp) + fellesmoduler (10 stp)

Studenter med yrkesfaglig bakgrunn:

Studieår : Fag:  
1.studieår: Pedagogisk teori 30 stp  
2.studieår: Yrkesfagdidaktikk 30 stp

Studiet er organisert som et modulbasert, deltidsstudium over 4 semester med bruk av IKT. Innen klassens ramme vil læringsarenaen være gruppe- og problembasert.

Første studieår består av pedagogisk teori og praksis og vil være felles for både de med allmennfaglig bakgrunn og de med yrkesfaglig bakgrunn.

Andre studieår vil klassen være delt etter fagdidaktiske og yrkesfagdidaktiske retninger. Praksisopplæring er integrert i studieenheter og har et omfang på 12 uker, fordelt med 6 uker pr. studieår eller studieenhet på 30 studiepoeng.

## 2.5 Læringsformer, inkludert IKT

PPU-studiet setter krav til at studentene selv er aktivt søkende. Studiet vil være preget av åpne og fleksible arbeidsformer. Det forutsettes derfor at studentene viser initiativ og tar ansvar for eget studiearbeid og felles læringsmiljø.

Informasjonsskriv fra fagansvarlig sendes til studentene via internett fra tid til annen. Derfor må studentene ha tilgang på PC med internett. All informasjon som går fra eller til basisgruppen, har gruppen selv ansvar for å videreformidle til hele gruppen. All informasjon som går fra eller til gruppen, har gruppen selv ansvar for å informere videre til hele gruppen.

Læringsformene er i stor grad lagt opp som fjernundervisning. Å kunne opptre i asynkron tid er et ”must” for å holde kontinuerlig kontakt mellom lærer og studenter. I tillegg til e-post, kan en bruke lyd-bilde og mobiltelefon.

Utdanningen bygger primært på det induktive læringsprinsipp. Teoriforståelsen er hovedsakelig forankret i humanistiske læringsteorier.

## 2.6 Løpende skikkethetsvurdering

### 2.6.1 Forskrift om skikkethetsvurdering i lærerutdanningene

Fastsatt av Utdannings- og forskningsdepartementet 16. august 1999 med hjemmel i lov av 12. mai 1995 nr. 22 om universiteter og høyskoler § 42b nr. 7. Endret 1. juli 2002 nr. 737 (bl.a. hjemmel).

#### § 1. Skikkethetsvurdering/definisjon

Skikkethetsvurderingen skal inngå i en helhetsvurdering av studentens faglige, pedagogiske og personlige forutsetninger for å kunne fungere som lærer. En student som utgjør en mulig fare for barnehagebarns og elevers rettigheter, sikkerhet og psykiske og fysiske helse er ikke skikket for læreryrket.

Løpende skikkethetsvurdering av alle studenter ved lærerutdanninger som nevnt i universitets- og høyskoleloven § 54b skal foregå gjennom hele studiet.

Hvis det er begrunnet tvil om en student er skikket skal det foretas en særskilt skikkethetsvurdering. Forvaltningslovens regler om saksbehandling kommer til anvendelse ved særskilt skikkethetsvurdering.

#### § 2. Vurderingskriterier

Kriterier ved vurderingen av om en student er skikket er:

- a) studenten viser manglende vilje eller evne til omsorg og til å lede læringsprosesser for barn og unge i samsvar med mål og retningslinjer for barnehagens og skolens virksomhet.
- b) studenten viser manglende vilje eller evne til å ha oversikt over hva som foregår i en barnegruppe eller klasse og ut fra dette skape et miljø som tar hensyn til barn og unges sikkerhet og deres psykiske og fysiske helse.
- c) studenten unnlater å ta ansvar som rollemodell for barn og unge i samsvar med mål og retningslinjer for barnehagens og skolens virksomhet.
- d) studenten viser manglende vilje eller evne til å kommunisere og samarbeide med barn, unge og voksne.
- e) studenten har problemer av en slik art at han/hun fungerer svært dårlig i forhold til sine omgivelser.
- f) studenten viser for liten grad av selvinnsikt i forbindelse med oppgaver i lærerstudiet.
- g) studenten viser manglende vilje eller evne til å endre uakseptabel adferd i samsvar med veiledning.

#### § 3. Informasjon til studentene

Ved studiestart skal institusjonen sørge for at alle studentene får informasjon om skikkethetsvurderingen og hva den innebærer.

#### § 4. Skikkethetsnemnd

Styret selv skal oppnevne en skikkethetsnemnd. Nemnda skal bestå av:

- faglig leder for avdelingen eller tilsvarende funksjon
  
- faglig studieleder for lærerutdanningen eller tilsvarende funksjon
  
- en representant fra praksisfeltet
  
- en faglærer fra lærerutdanningen
  
- To studentrepresentanter fra lærerutdanningen
  
- en ekstern representant oppnevnt av Statens utdanningskontor
  
- en ekstern representant med juridisk embetseksamen.

Medlemmer oppnevnes for 3 år av gangen. Studentrepresentantene oppnevnes for ett år. Avdelingsleder er nemndas leder, og sitter i nemnda i den perioden han/hun er valgt til avdelingsleder.

Minst to tredjedeler av nemndas medlemmer skal være tilstede ved saksbehandlingen.

#### § 5. Institusjonsansvarlig

Styret oppnevner en ansatt ved lærerutdanningen som institusjonsansvarlig for skikkethetsvurderingen. Institusjonsansvarlig kan oppnevnes blant skikkethetsnemndas medlemmer.

#### § 6. Tvilsmelding

Tvil om en students skikkethet meldes skriftlig til institusjonsansvarlig. Den som leverer tvilsmelding regnes ikke som part i saken.

Tvilsmeldinger som er åpenbart ugrunnet skal ikke behandles av institusjonsansvarlig.

#### § 7. Behandling hos institusjonsansvarlig

Studenten skal varsles skriftlig om at det foreligger begrunnet tvil om vedkommendes skikkethet. Institusjonsansvarlig skal innkalle studenten til vurderingssamtale, og sørge for at saken blir så godt opplyst som mulig. Studenten skal få tilbud om utvidet oppfølging og veiledning med mindre det er åpenbart at slik oppfølging ikke er egnet til å hjelpe studenten. Praksisperioder kan utsettes til etter at utvidet veiledning er avsluttet.

Fra vurderingssamtalen skal det lages skriftlig referat, som inneholder en beskrivelse av saksforholdet og eventuelle planer for utvidet oppfølging og veiledning av studenten.

Hvis utvidet oppfølging og veiledning ikke medfører den nødvendige endring og utvikling hos studenten, skal institusjonsansvarlig fremme saken for skikkethetsnemnda.

#### § 8. Behandling i skikkethetsnemnda

Saker som fremmes for skikkethetsnemnda skal følges av all skriftlig dokumentasjon i saken. Nemnda skal utrede saken ytterligere dersom det er nødvendig.

Studenten skal varsles i god tid om tidspunktet for møtet, og gjøres kjent med sakens opplysninger. Studenten skal ha mulighet til å legge frem sine synspunkter for nemnda før møtet.

Nemnda lager en innstilling til styret med en vurdering av hvorvidt studenten er skikket eller ikke, hvorvidt studenten bør utestenges fra lærerutdanningen, samt lengden på utestengingsperioden og eventuelle vilkår for at studenten skal få gjenoppta lærerutdanningen. Vedtak om innstilling fattes med to tredels flertall.

#### § 9. Behandling i styret

På bakgrunn av skikkethetsnemndas innstilling fatter styret selv vedtak om at en student ikke er skikket etter reglene i universitets- og høyskoleloven § 42b nr. 3 og 4. Det skal ikke utstedes vitnemål for lærerutdanningen til en student som er funnet ikke-skikket.

Hvis en student som er funnet ikke-skikket skal utestenges fra lærerutdanningen, skal det fattes særskilt vedtak om dette. Studenten kan utestenges fra lærerutdanningen i inntil 3 år. Ved kortere utestenging kan styret stille vilkår som må være oppfylt før lærerutdanningen gjenopptas.

Vedtak om utestenging skal opplyse studenten om at han/hun ikke kan søke eller ta imot plass ved andre lærerutdanninger i utestengingsperioden og at han/hun må søke nytt opptak dersom lærerutdanningen skal gjenopptas etter utestengingsperioden.

0Endret ved forskrift 1 juli 2002 nr. 737.

#### § 10. Sentralt register

Når det er fattet vedtak om at en student ikke er skikket, skal opplysninger om studentens navn og omfang og tidsbegrensning av en eventuell utestenging sendes til Samordna opptak, som vil opprette et sentralt register. Hvis vedtak blir omgjort etter klage skal det sendes melding til Samordna opptak om dette.

Opplysningene i det sentrale registeret skal slettes når utestengingsperioden er over.

#### § 11. Ikrafttredelse

Denne forskrift trer i kraft straks.

## 2.6.2 Retning slinjer for løpende skikkethetsvurdering i lærerutdanninger

Retningslinjene for løpende skikkethetsvurdering bygger på Forskrift om skikkethetsvurdering i lærerutdanningene, av 16. aug. 1999, endret 1. juli 2002, og departementets merknader til denne, jfr. Rundskriv F-060-99. Forskriften gjelder allmennlærerutdanning, førskolelærerutdanning, praktisk-pedagogisk utdanning, faglærerutdanning og yrkesfaglærerutdanning, inkludert valgfag som inngår i disse utdanningene.

Løpende skikkethetsvurdering skal foregå gjennom hele studieførløpet og inngå i en helhetsvurdering av studentens faglige, pedagogiske og personlige forutsetninger for å kunne fungere som lærer. Den enkelte students skikkethet skal vurderes løpende både i den teoretiske og den praktiske delen av studiet, jf. § 1 i forskriften.

Løpende skikkethetsvurdering skal være en integrert del av vurderingen i alle fag og i praksis. Vurderingskriteriene framkommer i forskriftens § 2.

### Retningslinjer for løpende skikkethetsvurdering

Ved studiestart i 1. studieår skal informasjon om skikkethetsvurdering og drøfting av kriterier og lokale retningslinjer for løpende skikkethetsvurdering inngå i de første møtene mellom studentene og faglærere/kontaktlærere/studieledere, jf. forskriftens § 1, 2 og 3.

Ansvar: Studieleder

Kontaktlærer har et særlig ansvar for oppfølging av løpende skikkethetsvurdering i "sine" basisgrupper. Ansvarer omfatter også å følge opp evt. problemer som oppstår innad i gruppene. I valgfag med få studenter fra lærerutdanningene kan oppfølgingen organiseres på en annen måte.

Ansvar: Kontaktlærer

Studentene skal utvikle normer for samhandling i gruppene. Normene formuleres skriftlig og brukes ved evaluering av gruppeprosessene, jf. forskriftens § 2, særlig pkt. d, e.

Ansvar: Klassekoordinator, evt. fagansvarlig lærer i valgfaget

For å få en felles forståelse, drøftes vurderingskriteriene for løpende skikkethetsvurdering i forskriftens § 2 i møte med øvingslærerne før praksis.



Er det ikke mulig å avholde møter mellom partene før praksis, skal øvingslærerne informeres skriftlig om Forskriften om skikkethetsvurdering i lærerutdanningene og deres rolle i denne sammenhengen.

Ansvar: Studieleder/praksiskonsulent

Under kontaktlærers oppfølging av studenten i praksis skal løpende skikkethetsvurdering inngå som tema i samtale mellom partene.

Ansvar: Kontaktlærer

Kontaktlærer gjennomfører samtaler med ”sine” grupper minst en gang pr. semester. Utgangspunktet for samtale er gruppas egenformulerte gruppenormer og evaluering av samhandlingen i gruppa, jf. pkt. 3 ovenfor. Ved uttrykt behov gjennomfører kontaktlærer også individuelle samtaler med enkeltmedlemmer i gruppa.

Kontaktlærer lager en kort skriftlig oppsummering av samtale.

Ansvar: Kontaktlærer

Som ledd i en helhetlig vurdering av studentens forutsetninger for å kunne fungere som lærer, jf. § 1 i forskriften, drøftes og oppsummeres erfaringer fra samtale og eventuelle bekymringer/problemer knyttet til enkeltstudenter i lærerteamet. Behov for tiltak vurderes.

Ansvar: Klassekoordinator, kontaktlærer, fagansvarlig lærer i valgfaget

Dersom lærerteamet etter en helhetlig vurdering konkluderer med at en student vil ha store problemer med å gjennomføre lærerutdanningen og fungere som lærer, må studenten få veiledning om dette, og eventuelt rådes til å avbryte studiet.

Ansvar: Kontaktlærer og studieleder

Dersom det leveres inn tvilsmelding om en students skikkethet, jfr. forskriftens § 1 og § 6, skal denne vurderes av institusjonsansvarlig for skikkethetsvurdering.

Den som leverer tvilsmelding, er ikke part i saken, men kan ikke regne med å være anonym. Alle berørte parter (faglærere, øvingslærere, studenter og administrativt tilsatte) kan levere tvilsmelding.

Prosedyrer for behandling av tvilsmelding framgår av forskriftens § 6 og 7.

Ansvar: Institusjonsansvarlig for skikkethetssaker

### 2.6.3 Retning slinjer ved manglen de oppfylte arbeidskrav og/eller manglen de deltakelse i obligatoriske læringaktiviteter i lærerutdanningene

I Lov om høyskoler og universiteter, § 40, pkt. 2, framgår at retten til å gå opp til eksamen kan nektes dersom kandidaten ikke har fulgt obligatorisk undervisning eller gjennomført obligatorisk praksis.

I Forskrift om eksamen ved Høgskolen i Finnmark, § 8, pkt. 2 og 3, framgår at det kan stilles krav om at bestemte obligatoriske oppgaver (arbeidskrav) skal være gjennomført og godkjent, før kandidaten kan fremstille seg til gitte eksamener. Opplysninger om slike arbeidskrav skal framkomme i fag- og/eller studieplaner. Manglende deltakelse i obligatorisk undervisning og/eller praksis omfattes av de samme bestemmelsene.

Forskrift om skikkethetsvurdering i lærerutdanningene, § 2 f, kan også komme til anvendelse i slike tilfeller.

#### Retningslinjer ved manglende oppfylte arbeidskrav

Dersom en student ikke har oppfylt arbeidskrav innen oppgitt frist, skal faglærer ha samtale med studenten, før faglærer skriftlig informerer studenten om mulige konsekvenser for hans/hennes studieprogresjon. Studenten skal samtidig informeres om muligheten for ett nytt forsøk til å oppfylle det aktuelle arbeidskravet, innen en nærmere fastsatt tidsfrist. Kopi sendes studieleder.

Ansvar: Fagansvarlig lærer

Dersom ny frist for oppfyllelse av arbeidskrav ikke overholdes, gir faglærer skriftlig melding til studieleder senest 3 uker før eksamen. Fagansvarlig lærer avgjør i samarbeid med studieleder om studenten kan gå opp til eksamen. Studieleder melder videre til studiekontoret, som sender brev til studenten.

Ansvar: Studieleder

Etter søknad fra studenten kan frist for oppfyllelse av arbeidskrav vurderes forlenget dersom det foreligger tungtveiende grunner for det, for eksempel dokumentert, langvarig sykdom, fødsel, o.l. Søknad om utsettelse fremmes i slike tilfeller til fagansvarlig lærer. Dersom innvilgelse får konsekvenser for eksamen og videre studieprogresjon, vurderes søknaden av studieleder, i samråd med studiekontoret og faglærer.

Ansvar: Studieleder

#### Retningslinjer ved for stort fravær fra obligatorisk undervisning

Dersom en student står i fare for ikke å få godkjent studiet på grunn av for stort fravær fra obligatorisk undervisning, skal faglærer ha samtale med studenten før faglærer skriftlig informerer om omfanget av fraværet og mulige konsekvenser for hans/hennes studieprogresjon. Kopi sendes studieleder.

Ansvar: Fagansvarlig lærer

Dersom en student har så stort fravær fra obligatorisk undervisning at studiet ikke kan godkjennes, gir fagansvarlig lærer skriftlig melding til studieleder senest 3 uker før eksamen. Studieleder melder videre til studiekontoret som sender brev til studenten.

Ansvar: Studieleder

Etter søknad kan stort fravær unntaksvis kompenseres ved ekstra arbeidsoppgaver dersom det foreligger tungtveiende grunner for fraværet, som for eksempel dokumentert langvarig sykdom, fødsel m.m. Søknaden fremmes i slike tilfeller til fagansvarlig lærer, som behandler søknaden i samråd med studieleder.

Ansvar : Fagansvarlig lærer

Ved fravær i praksisopplæringen gjelder egne bestemmelser. Jfr. Plan for praksis i den enkelte lærerutdanning.

Ansvar: Øvingslærer/studieleder

## 2.7 Praksis

### 2.7.1 Innledning

Den praktiske opplæringen har en særstilling i et yrkesrettet studium som dette. Utdanning betegnes som en samhandling og dialog mellom teoretiske emner og praktiske yrkessituasjoner. Studentens teoretiske innsikt, praktiske erfaringer og yrkesetiske holdninger prøves ut i en yrkesrolle. Praksis tar utgangspunkt i den kompetansen studenten har med seg inn i studiet, og knytter den til studiet i pedagogikk og yrkes-/fagdidaktikk. Teori gir studenten et refleksjons- og referanserom for praksiserfaringene.

Praksis sikter mot å utvikle ferdigheter i å tilrettelegge, gjennomføre og vurdere undervisning for elever i grunnskolen og den videregående skole, evt. også i voksenopplæring og andre opplæringsinstitusjoner. Praksis er studentenes direkte erfaringer med læreryrket og seg selv som yrkesutøvere. Praksiserfaringer synliggjør faglige, didaktiske, etiske og personlige utfordringer i forholdet mellom studentenes aktuelle beredskap og det som trengs i yrket. Samhandling, dialog og egen refleksjon gir grunnlag for å utvikle lærerrollen og læreridentiteten. Deler av erfaringene fra praksisfeltet vil kunne eksemplifiseres både i pedagogikk og yrkes-/fagdidaktikk, men praksiskompetansen prøves kun gjennom praksis og ikke gjennom eksamen.

Praksisopplæringen skal bidra til å utvikle kyndighet i læregjeringen. Studentene skal utvikle evnen til kritisk vurdering og refleksjon over egen praksis som lærer, blant annet ved at arbeidet og erfaringene fra praksisopplæringen relateres til og integreres i arbeidet med pedagogikk og yrkesdidaktikk/fagdidaktikk. Praksisopplæringen skal være veiledet og foregå i autentiske yrkessituasjoner for lærere. Praksisopplæringen er et felles ansvar for praksisveileder og lærere i pedagogikk/yrkesdidaktikk/fagdidaktikk.

### 2.7.2 Organisering av praksis

Det er ønskelig at studentene skal få muligheter til å gjennomføre praksis i både grunnskolen (mellom- og ungdomstrinnet) og videregående skole. Praksis i det første året bør gi muligheten for å velge mellom disse skoleslagene, mens praksis andre året må ha intensjoner om å gjennomføres i det skoleslag som studenten kommer til å rette seg inn i mot etter endt utdanning. Det omfatter også muligheten til voksenopplæring og eventuelt andre opplæringsformål som studenten arbeider innenfor. Dette avtales nærmere med den til enhver tid faglige ansvarlige for studiet.

Praksisdelen av studiet skal primært rettes mot det/de fagområde(r) som studenten har kompetanse i. Dette utelukker ikke deltakelse i tverrfaglig arbeid og teamorganisering, som anses å være en naturlig arbeidsform i skolen.

Praksis i studiet er på totalt 12 uker, fordelt med 6 uker på hvert studieår.

Det er ønskelig at praksisen gjennomføres i par eller grupper dersom dette er mulig.

Før gjennomføringen av praksis skal ansvar for oppfølging av praksisgruppene/studentene i de forskjellige praksisskolene, fordeles mellom lærerne på studiet. Kontakt mellom de respektive lærere, praksisveileder og studenter etableres i god tid før praksisperiodene starter, for å inngå konkrete avtaler av både faglig og praktisk karakter, slik at det ikke oppstår misforståelser knyttet til undervisning, klassetrinn/kurs og timeplan. Studentene har selv et ansvar for å etablere den nødvendige kontakt med praksisveileder før praksis starter.

Studentene oppfordres til selv å forsøke og finne praksisveileder/praksissted for praksisperioden. Dersom studentene ikke lykkes med dette, skal høgskolen skaffe praksisplasser.

### 2.7.3 Mål, innhold og arbeid skrevet i praksis

Studentens praksis skal bidra til et vekselspill mellom teoretisk kunnskap, praksiserfaring og didaktisk refleksjon, med utgangspunkt i mål- og temaområder for den enkelte studieenhet, jfr. fagplanens kap. 2, pkt. 5.

Følgende hovedtemaer er sentrale i praksisopplæringen:

- Undervisning og ledelse av læring
- Tilpasset opplæring
- Kommunikasjon og samarbeid
- Yrkesrolle og yrkesetikk
- Egenvurdering og utviklingsarbeid

Aktuelle temaer for veiledning, studentens undervisning og læringsoppgaver i praksis:

Faglig og sosialt arbeid i elevgruppene:

- Planlegging, gjennomføring og vurdering av egen undervisning med utgangspunkt i aktuelle læreplaner og rammebetingelser
- Ulike undervisningsformer, differensiering og tilpasset opplæring
- Ledelse av elevgrupper/klasser
- Bruk av IKT som undervisnings- og læringsverktøy
- Utvikling av godt læringsmiljø og sosialt miljø i elevgruppene
- Elevaktivitet og medvirkning i opplæringen
- Likestilling og likeverd i elevgruppene
- Flerkulturelt arbeid
- Bruk av fysisk miljø

Øvrig pedagogisk virksomhet på skolen/praksisstedet:

- Lærestedets pedagogiske plattform
- Lærestedets virksomhets- og utviklingsplaner
- Lokale læreplaner
- Bruk av IKT og nye medier
- Skolebasert vurdering, kvalitetssikring og elevvurdering
- Samarbeid lærere – elever, bl.a. elevrådsorganer og kollegialt samarbeid

Skolen/lærestedet som organisasjon:

- Skolen/praksisstedets oppbygning, struktur og ledelse
- Timeplaner, time- og lærerressurser
- Ansvars- og oppgavefordeling i personalet
- IKT-ressurser, nettverk og læringsomgivelser
- Fysisk og sosialt miljø
- Lærernes arbeidsvilkår og arbeidssituasjon
- Samarbeidsformer skole-hjem

- Samarbeid med andre instanser, skoler og bedrifter

#### 2.7.4 Praksis i første studie år

##### Organisering

1 uke observasjonspraksis gjennomføres i løpet av høstsemesteret på den respektive praksisplass/skole. I denne uken forventes det at studenten bruker tid til å gjøre seg kjent med lærestedet, observerer undervisningsaktiviteter med elevene, samt evaluerer og drøfter sine erfaringer på praksisstedet underveis og i avslutningen av denne uken.

De resterende 5 uker gjennomføres i perioden januar-mars etter avtale med faglig ansvarlige lærere og praksissted/veileder.

##### Arbeidskrav

Hver student skal gjennomføre minimum 8 timer undervisning pr. praksisuke. Studenten skal utarbeide planer til sin gjennomføring av undervisning ved bruk av didaktisk relasjonstenking. Disse planene framlegges praksisveileder for førveiledning og eventuelt justering. Studenten skriver loggbok i praksis og deler sine erfaringer med medstudenter etter endt praksis.

Se for øvrig fagplanens kap. 2, pkt. 7.2 om arbeidskrav.

#### 2.7.5 Praksis andre studieår yrkes- eller fagdidaktikk

Hver student skal gjennomføre minimum 8 timer undervisning pr. praksisuke.

Studenten skal også gjøre seg kjent med skolen som organisasjon og de etater som skolen representerer eller samarbeider med. Herav blant annet ledelse, spesialpedagogisk virksomhet, oppfølgingstjeneste og rådgiver. Studenten bør gis mulighet til å følge elevsamtaler og foreldremøter/annet samarbeid mellom skole og hjem.

I spesielle tilfeller kan praksis for studenter på yrkesdidaktikk gjennomføres i form av kurs eller opplæring i egen institusjon/bedrift. Dette gjøres evt. i samråd med faglig ansvarlig lærer for studiet. Dersom spesielle hensyn tilsier det, kan praksis deles opp. Dette gjøres også evt. i samråd med praksisveileder og faglig ansvarlig lærer.

Studenten skal utarbeide planer for sin undervisning og framlegge det for praksisveileder for veiledning. Studenten skal også skrive logg fra sin undervisning/praksis. Studentene skal dele sine erfaringer fra praksis med sine medstudenter.

Se for øvrig fagplanens kap. 2, pkt. 7.3 om arbeidskrav.

#### 2.7.6 Tilstedeværelse i praksis

All praksisopplæring er obligatorisk. Dersom studenten p.g.a. sykdom eller av andre grunner har fravær fra praksis, må hun/han melde fra til veileder og medstudenter i gruppa så snart som mulig. Dersom fraværet strekker seg utover tre dager, må studenten også melde fra til fagansvarlig lærer og praksiskonsulent ved høgskolen. Studenten må i slike tilfeller framlegge

dokumentasjon på de forhold som forårsaker fraværet. Denne leveres veileder innen en uke etter fraværet. Fravær fra praksis må tas igjen for å få praksisen vurdert til godkjent.

Daglig tilstedeværelse på praksisstedet skal ha et omfang tilsvarende vanlig arbeidsdag. Ved deltakelse på møter, for eksempel foreldremøter, personalmøter, utover vanlig arbeidstid, kan medgått tid trekkes fra den daglige tilstedeværelsen (avspaseres).

Veiledningssamtaler kan også komme utenfor vanlig arbeidsdag. Under praksis må det i tillegg brukes og settes av tid til individuell planlegging/eventuelt i par eller grupper. Her er det viktig at det gis tid/rom for planlegging, refleksjon/etterarbeid og ettertanke.

### 2.7.7 Veiledning i praksis

Praksisveileder og fagansvarlig lærer utgjør et veilederteam med felles ansvar for veiledning av studentene.

Under praksisperiodene i skolen har praksisveileder hovedansvaret for å legge til rette for studentenes praksisopplæring. De skal veilede studentene både i forbindelse med planlegging, gjennomføring og vurdering av undervisningen, og når studentene skal vurdere, systematisere og reflektere over sine erfaringer og handlinger. Videre skal veileder til vanlig være til stede i klasserommet/verkstedet sammen med studentene, dels som lærere, dels som studentens kollega i tolærerforhold og dels som observatør av studentenes undervisning.

Praksisveileder skal, sammen med faglærerne fra høgsolen, bidra til å knytte sammen problemstillinger fra undervisningen i pedagogikk og yrkes-/fagdidaktikk, med de observasjoner, erfaringer og refleksjoner studentene gjør i praksisopplæringen. I den sammenheng bør det i praksisopplæringen legges til rette for utprøving av problemstillinger som studentene arbeider med i pedagogikkstudiene.

I tillegg til praksisveileders veiledning skal fagansvarlige lærere ved høgsolen støtte opp om og være tilgjengelig for studentene i deres praksisopplæring. Den fagansvarlige læreren fra høgsolen, som har ansvar for oppfølging av bestemte studenter/studentgrupper i praksis, bør møte på sine praksisskoler minst en gang under selve praksisgjennomføringen. Dette organiseres på følgende måte:

Praksisveileder og høgsolens lærer følger studenten i en undervisningsøkt på minimum to timer. I tillegg kommer tid til førveiledning og etterveiledning. Studentens progresjon i forhold til hans/hennes individuelle målsettinger og faglige didaktiske problemstillinger, bør drøftes mellom partene under dette møtet.

Studentene har krav på veiledning, men har også selv ansvar for å søke veiledning. Gjennom veiledning kan studentene få hjelp til å reflektere over og videreutvikle sin kunnskap og forståelse for undervisningsarbeid og yrkesetikk, og sin egen og studentgruppas utvikling.

Praksisveileder og studenter avtaler i fellesskap tid for veiledning, der undervisningssituasjoner, konsekvenser og erfaringer analyseres og drøftes under gjensidig og aktiv deltakelse.

Fagansvarlige lærerne skal også bistå praksisveiledere i andre veiledningsspørsmål knyttet til studentene, blant annet veiledningsspørsmål knyttet til didaktiske/pedagogiske spørsmål og til

skikkethetsvurdering. Dersom det i løpet av en praksisperiode oppstår forhold ved praksisskolen som vil få innvirkning på studentenes praksisopplæring, skal praksisveileder ta kontakt med fagansvarlig lærer eller studieleder på høyskolen for drøfting, veiledning og praktisk hjelp til å finne løsninger.

### 2.7.8 Vurdering

Alle arbeidskrav knyttet til praksisopplæring må være godkjent for å kunne få bestått praksisopplæring.

Vurdering av den enkelte studentens praktiske lærerdyktighet gjøres av praksisveileder i samråd med fagansvarlig lærer. Fagansvarlig lærer vurderer de skriftlige arbeidene som leveres inn etter avsluttet praksis, jfr. fagplanens bestemmelser om

Ved avslutningen av hver praksisperiode gir praksisveileder en formell vurdering med karakteren Bestått eller Ikke bestått. Vurderingen skal bygge på en kvalifisert, skjønnsmessig og helhetlig vurdering med utgangspunkt i observasjoner, skriftlige arbeid fra studenten i praksisperioden og veiledningssamtaler.

Det benyttes eget vurderingsskjema som er utarbeidet for praksis i praktisk-pedagogisk utdanning. Kriteriene for den avsluttende vurderingen framkommer i dette skjemaet. Det er viktig at studenten er informert om disse kravene og at de selv får muligheten til å vurdere seg opp i mot disse kriteriene. Vurderingen sendes fagansvarlig lærer. Studenten skal også ha et eksemplar av den avsluttende vurderingen.

Alle praksisperioder må være bestått før studenten kan få vitnemål.

### 2.7.9 Tvil om bestått praksis

Dersom det i løpet av en praksisperiode oppstår tvil om studenten vil bestå praksis, skal det tidligst mulig i praksisperioden avholdes møte mellom praksisveileder, fagansvarlig lærer og studenten, for å drøfte situasjonen og avklare hvilke områder studenten særlig må rette sin innsats mot og forbedre, for å bestå praksis. Resultatet av møtet nedfelles skriftlig og formidles til deltakerne og til studieleder.

Studenten må deretter vise tilfredsstillende innsats, deltakelse og måloppnåelse i resten av praksisperioden for å bestå praksis.

Dersom det sent i praksisperioden oppstår forhold som er av en slik art at det utvilsomt ville ført til ikke bestått praksis dersom det hadde oppstått tidligere, kan praksisen vurderes til Ikke bestått, selv om overnevnte prosedyre ikke kan gjennomføres.

### 2.7.10 Utsatt eller Ikke bestått praksis

Ved Ikke bestått praksisperiode, kan studenten framstille seg til ny praksis i det påfølgende studieår når ordinær praksisperiode organiseres.

Studenter som på grunn av fravær som skyldes dokumentert sykdom eller andre tvingende grunner, ikke får godkjent en praksisperiode, må ta hele eller deler av denne om igjen, avhengig av fraværets omfang. Studenten har anledning til å framstille seg til ny praksisperiode en gang.

Praksiskonsulent avgjør sammen med praksisveileder hvordan slik praksisopplæring kan tas igjen.

### 2.7.11 Taushetsplikten

Studentene må rette seg etter gjeldende lover, forskrifter, instruksjoner og lokale regler ved praksisskolen. Studenter i lærerutdanning er underlagt lovbestemt taushetsplikt om forhold som gjelder elever og foresatte. Ved starten på praksisperiode ved en ny skole må studenten underskrive taushetserklæring.

## 2.8 På tvers av fag/fagområder innenfor Praktisk-pedagogisk utdanning

### 2.8.1 Opplæringen skal samlet dekke de fem kompetanseområdene

Praktisk-pedagogisk utdanning (PPU) skal fremme lærerstudentenes personlige dannelse. Det praktisk-pedagogiske studiet skal være yrkesrettet, praksisbasert og tilpasset den faglige eller yrkesfaglige bakgrunnen hos den enkelte student.

Gjennom hele PPU-studiet skal lærerstudentene utvikle:

- faglig kompetanse som de kan bygge på og videreutvikle i sitt arbeid som lærer. De skal kunne reflektere over sammenhenger mellom vitenskapsfag og yrkesfag/skolefag, og over fagenes utforming og betydning i samfunnet.
- didaktisk kompetanse, slik at de kan planlegge, begrunne, gjennomføre og vurdere elevtilpasset opplæring i samsvar med aktuelle læreplaner og lovverk. Didaktisk kompetanse inkluderer forståelse for og evne til å utvikle elevenes læringsstrategier og skape konstruktive og inkluderende læringsmiljø.
- sosial kompetanse, slik at de kan samarbeide med elever og møte dem ut fra deres individuelle og kulturelle forutsetninger og utvikle deres medansvar i undervisnings- og læringsarbeidet. Sosial kompetanse er også en forutsetning for å kunne samarbeide med kolleger, ledelse, foreldre/foresatte og skolens lokalmiljø.
- endrings- og utviklingskompetanse, som gjør at de kan ta hensyn til at innholdet, organiseringen og læringsformene i skole og arbeidsliv er i stadig endring. Denne kompetansen viser de bl.a. gjennom å delta kritisk og konstruktivt i utviklingen av lokale arbeidsplaner. Kjennskap til og gjennomføring av forsknings- og utviklingsarbeid er nødvendig dersom de skal kunne videreutvikle sin lærerrolle også etter fullført studium.

yrkesetisk kompetanse, som er i samsvar med de grunnverdier opplæringen i skole og arbeidsliv bygger på. Yrkesetisk bevissthet skal ligge til grunn for alle sider av lærerarbeidet: i klassen/verkstedet, i skolen/bedriften, i



lokalsamfunn og andre samfunnsarenaer.

## 2.8.2 Samiske emner i samsvar med gjeldende læreplaner

Reformene og de nye læreplanene i skoleverket har medført at samiske emner skal integreres i ordinær undervisning i alle skoleslag over hele landet. Disse endringene bygger på et nasjonalt lovverk og er i samsvar med gjeldende internasjonal urfolksrett. Derfor har kjennskap til samisk språk og kultur en avgjørende betydning for lærere som arbeider i Nord-Norge og i Finnmark spesielt. Flere kommuner i denne regionen omfattes av Samelovens språkregler. Formålet med loven er å bevare og utvikle den samiske kulturen og det samiske språket i nasjonal sammenheng. I takt med disse endringene vil samiske emner flettes inn i PPU-studiet der det er naturlig. Det er et mål at alle lærerstudenter skal ha fått grunnleggende kunnskaper om samiske forhold i løpet av studiet.

## 2.8.3 IKT som hjelpemiddel for kommunikasjon og læring i alle fag

ClassFronter er høyskolens dominerende informasjons- og kommunikasjonskanal mellom lærere, øvingslærere og lærerstudenter. Det er en forutsetning at lærerstudentene bruker ClassFronter aktivt for å innhente løpende informasjon og for å kommunisere med medstudenter og lærere.

Ved studiestart gis et kort introduksjonskurs i bruk av kommunikasjonsplattformen ClassFronter, trykte og elektroniske kilder, og studiets oppbygning og tilrettelegging. Alle lærerstudenter skal lære å bruke IKT-verktøyet målrettet og fleksibelt i læringsarbeidet

## 2.8.4 Arbeidsformer som fremmer entreprenørskap

På tvers av alle fag/fagområder skal studiet benytte arbeidsmetoder som fremmer lærerstudentenes kompetanse på entreprenørskap som undervisningsmetode. Entreprenørskapskompetanse innebærer at lærerstudentenes utvikler kunnskaper, ferdigheter og holdninger i å være aktiv og ta initiativ, vise åpenhet og ærlighet, være nyskapende og kreative, kunne samarbeide på tvers av fag og fagområder, knytte sammen teori og praksis på ulike læringsarenaer, vise dristighet, evne og vilje til å ta en kalkulert risiko når en beveger seg på ny og ukjente områder.

## 2.8.5 Læreren som leder og samarbeidspartner

Målområdet omfatter organisasjons-, ledelses- og samarbeidsoppgaver som ligger utenom den daglige opplæringen, men som legger viktige rammer for denne. Dette krever forståelse for skolens/virksomhetens mål og egenart som læringsarena og arbeidsplass. Utdanningen skal også fremme evne og vilje til å videreutvikle organiserings- og ledelsesformene og den kulturen som ligger til grunn for disse.

Lærerstudentene skal:

- være bevisst eget og kollegers fag-, kunnskaps- og læringssyn og forholdet mellom pedagogisk grunnsyn, opplæringens mål og skolens/virksomhetens praksis.

- kunne forstå skolens, og eventuelt bedriftens særtrekk som organisasjon generelt og i forhold til eget yrke spesielt.
- kunne vurdere og bidra aktivt til videre utvikling av det fysiske og sosiale arbeids- og læringsmiljøet i skolen/virksomheten være i stand til å forstå, vurdere og utvikle samspillet mellom hensiktsmessige organiseringsformer og gode læringsstrategier

### 2.8.6 Sammenheng mellom praksis og pedagogisk teori i lærerutdanningen

Praksisbaserte og yrkesrelevante arbeidsoppgaver og tett oppfølging av studentene vil bidra til å fremme yrkesretting, sammenheng, helhet og sammenheng innenfor fag og på tvers av fag. Den pedagogiske teorien som lærerstudentene lærer på Høgskolen i Finnmark skal knyttes sammen med de praktiske erfaringene studentene tilegner seg fra skolens praktiske læringsarena. Slik vil praksis på skolen ikke bli atskilt og løsrevet fra pedagogiske teorier. En slik sammenkopling vil være til stor hjelp for lærerstudentene i lærerutdanningen når deres praktiske erfaringer skal danne grunnlaget for å forstå pedagogisk teori.

### 2.8.7 Sammenheng mellom allmennfag og yrkesopplæring i videregående opplæring

Målet med reformene i grunnopplæringen er å forene den allmennfaglige og den yrkesfaglige læringstradisjonen og smelte dem sammen på en likeverdig og integrert måte innenfor videregående opplæring. Dette fordrer et forsterket samarbeid mellom allmennfag- og yrkesfaglærere gjennom utvikling av kollegabasert veiledning. Det praktisk-pedagogiske studiet skal være yrkesrettet, praksisbasert og tilpasset den yrkesfaglige eller faglige bakgrunnen hos den enkelte student. Dette kan en best oppnå gjennom nært, tverrfaglig lærer- og studentsamarbeid i lærerutdanningen. Praksisbaserte og yrkesrelevante arbeidsoppgaver og tett oppfølging av studentene på den praktiske læringsarena vil bidra til å fremme prinsippene om yrkesretting av allmennfag, helhet og sammenheng mellom allmennfag og yrkesfag.

### 2.8.8 Samarbeid med arbeidss- og yrkesliv, foreldre/foresatte og ulike instanser som har ansvar for barn og unges oppvekst og læringsmiljø

Som utdannede lærere skal lærerstudentene kunne gi tilpasset opplæring til elever i forskjellige aldersgrupper og med et vidt spekter av evner, interesser, sosial og kulturell bakgrunn. I løpet av studiet skal lærerstudentene kunne studere læreprosessen ut i fra ulike pedagogiske perspektiver og lære seg å anvende forskjellige læringsstrategier for å kunne gi tilpasset opplæring til sine elever. Under studiet skal lærerstudentene lære hvordan de aktivt og positivt kan samarbeide med hjemmet og med lokalsamfunnet. Lærerstudentene må få erfare hvordan de kan samarbeide med foreldre/foresatte, bedrifter, etater, foreninger og andre som kan bidra til et godt og allsidig lærings- og oppvekstmiljø. Skal opplæringssystemet ivareta og videreutvikle elevenes lærelyst og tro på sin egen mestringsevne, må de fremtidige lærerne ha evne til å inkludere elevene, foreldrene/de foresatte og kollegene aktivt i det

pedagogiske arbeidet. For å komme alle elevene i møte, gi dem gode opplevelser og stimulere deres lærelyst, er det viktig at læreren har evne til å samarbeide med foreldre/foresatte, kolleger og andre som har ansvar for de unges oppvekstmiljø, både lokalt, men også globalt.

## 2.8.9 Litteratur

Studentene skal arbeide med litteratur som er sentral i forhold til de oppgaver og temaer det arbeides med. Litteraturlisten vurderes løpende før oppstart av hvert studieår og kan kompletteres i løpet av studiet.

Litteraturlisten er delt opp for hvert studieår, og noe av litteraturen vil kunne være aktuell for begge studieår. Det vil også kunne bli henvist til en del utdelte artikler og skriv som kommer som tillegg til ut litteraturlisten. Lærerstudenten oppfordres og stimuleres til å søke annen litteratur enn den som framkommer her. Det være seg litteratur som dekker samme temaer som den obligatoriske, samt tilvalgs- og fordypningslitteratur som studenten finner nødvendig i forhold til oppgaver og problemstillinger de måtte møte gjennom studiet.

Lærerstudentene vil også kunne arbeide med litteratursøk både på Internet og andre kunnskapskilder. Lærerstudentene har derfor en mulighet til å utarbeide en egen pensumliste ut over felles obligatorisk litteratur. Det vil være av stor betydning dersom lærerstudentene deler sine erfaringer med litteratur som de måtte ha utforsket, med sine medstudenter.

Litteraturliste for de ulike fagene gis ut som vedlegg til fagplanen ved studiestart.

## 3 Pedagogikk, 1. studieår

For å nå rammeplanens mål kreves det at studenten skal ha innsikt og kunnskaper i sine egne fag, om læring og undervisning, om opplæringslov og læreplaner i aktuelle skoleslag og om barns og unges livssituasjon og behov i dagens samfunn.

### 3.1 Pedagogikk - 30 studiepoeng

Studiet i pedagogikk handler om de grunnleggende spørsmål om læring og undervisning, oppdragelse og sosialisering i skole og samfunn. Faget skal bidra til at studentene vinner innsikt i og forståelse av hvordan barn, unge og voksne tilegner seg kunnskaper, ferdigheter og holdninger i samspill med sine omgivelser. Studiet tar også sikte på å belyse skolens plass og rolle i samfunnet, endringer i betingelser for læring og undervisning, og lærerens oppgaver i denne forbindelse.

Studiet skal bidra til utvikling av didaktisk, praktisk og yrkesetisk kompetanse som gir studenten grunnlag for organisere læringsmiljø som både utfordrer og skaper mening for elevene, og for å inngå i gode samarbeidsrelasjoner med elever, kolleger, foreldre og andre aktuelle parter.

### 3.1.1 Modul 1: Elevens læring og utvikling

#### Mål

Studentene skal utvikle kunnskaper og innsikt i grunnleggende prinsipper for læring, og forståelse for mangfold i læreforutsetninger og læringsformer hos elever. Studenten skal utvikle kunnskaper og ferdigheter i kartlegging av læreforutsetninger, kunne tilrettelegge og tilpasse læringsmiljø og undervisning for elever med ulike sosiale, kulturelle og individuelle læreforutsetninger. De skal kunne analysere og reflektere over læring som individuell og sosial prosess og forhold som har betydning for elevers læring, sosialisering og personlige utvikling.

#### Innhold

- Læring og utvikling
- Kompetanse og læreforutsetninger
- Læringsstrategier og arbeidsformer
- Gruppeprosesser og læring i grupper
- Sosialisering
- Tilpasset og likeverdig opplæring, differensiering
- Elever med problematferd og mobbing
- Individuelle opplæringstiltak
- Elevvurdering og veiledning

### 3.1.2 Modul 2: Lærerens yrkesforståelse, kompetanse og egenutvikling

#### Mål

Studentene skal utvikle kunnskaper og innsikt i lærerens arbeidsoppgaver og forpliktelser, kunne reflektere over egen yrkesrolle i et etisk og profesjonelt perspektiv. Studentene skal utvikle forståelse for hvordan planlegging, gjennomføring, vurdering og utvikling av undervisning og opplæring påvirker elevenes læring og utvikling. Studentene skal utvikle kunnskap og handlingskompetanse i læreplanarbeid, innsikt i bruk av teknologi og nye medier i opplæring. De skal vise etisk ansvar og innsikt i forhold til samhandling og samarbeid med elever, kollegaer i skole og arbeidsliv, foresatte og andre samarbeidspartnere.

#### Innhold

- Lærerprofesjonalitet og yrkesetikk
- Læreplanteori
- Læreplanarbeid
- Læreren som leder av elevgrupper
- Lærersamarbeid og kollegialitet
- Samarbeid skole-hjem
- Tilrettelegging og kvalitetssikring av læringsmiljø og undervisning
- Teknologi og nye medier
- Utviklingsarbeid knyttet til undervisning

### 3.1.3 Modul 3 : Skolen i et organisasjonss- og samfunnsperspektiv

#### Mål

Studentene skal kunne vurdere og være bevisste på skolen som samfunnsinstitusjon og kulturbærer i fortid, nåtid og framtid, og utvikle et reflektert forhold til sine samfunnsoppgaver som lærer. Det forutsetter kunnskaper og forståelse for skolens ansvar og oppgaver, relatert til syn på mennesket, kunnskap, samfunn, teknologi og kultur. Studentene skal utvikle kunnskaper om skolen som organisasjon, og hvordan historiske, teknologiske og ideologiske forhold påvirker skolens innhold og arbeidsformer. Det forutsetter en kritisk refleksjon over betingelser for endring og opplæring.

#### Innhold

- Skolens oppgave og funksjon i samfunnet
- Læreplanen som idegrunnlag og politisk dokument
- Ulike syn på kunnskap og opplæring
- Kulturelt mangfold i skolen
- Skolekultur, teknologi og skolen som organisasjon
- Fornyelse og endring i skolen

### 3.2 Formativ vurdering

#### 3.2.1 Arbeidskrav

### 3.3 Summativ vurdering

### 3.4 Litteratur

## 4 Fagdidaktikk allmenne fag, 2. studieår

Fagdidaktikk PPU i andre studieår har et omfang på 30 studiepoeng. Den fagspesifikke didaktikken bygger på studier i fag, og kvalifiserer for arbeid på mellomtrinnet eller ungdomstrinnet i grunnskolen, i videregående opplæring og i voksenopplæring.

Den fagspesifikke didaktikken består av en felles del (10stp.) og en fagspesifikk del (20stp.) Studenten kan etter kvalifikasjoner velge mellom tre ulike fagdidaktiske opplegg i den fagspesifikke del:

Fagdidaktikk i kroppsøving  
Fagdidaktikk i språkfag  
Fagdidaktikk i samfunnsfag.

## 4.1 Felles fagdidaktikk for allmenn fag- 10 studiepoeng

Målet med felles del er å fremme kompetanse for tverrfaglig undervisning i skolen. Lærerne må utvikle kompetanse til å samarbeide over faggrenser for å sikre elevenes individuelle rettigheter til opplæring. De må ha innsikt i og kunne utvikle kunnskap om samarbeid med andre instanser som har ansvar for barn og unge. De må ha god kjennskap til ulike modeller og fremgangsmåter for å skape et godt arbeidsmiljø i skolen.

Temaer under felles modulene, skal fremme bruken av tverrfaglige problemstillinger i prosjektarbeid i skolen, for eksempel: uteskole, internasjonalisering, regionens flerkulturelle egenart, likestilling og kjønn, entreprenørskap og innovasjon samt IKT i skolen. Felles mål for alle er også kjennskap til prosjektarbeid, mappevurdering og skriveprosessen.

### 4.1.1 Modul 1: Lov, plan og undervisning

Undervisningsformer og læringsstrategier

#### Mål

Kunne prinsipper i prosessorientert skriving, mappevurdering og problembasert læring.

Kunne reflektere over skriving som læringsstrategi.

Studenten skal gjøres i stand til å gjennomføre tverrfaglige opplegg med uteskole og fysisk aktivitet i skolen.

#### Innhold

- prosessorientert skriving
- prosjekt,
- mappe
- problembasert læring
- uteskole og fysisk aktivitet i skolen

Lov og plan som styrer skolen

#### Mål

Kunne hovedinnholdet i opplæringsloven, kjenne til læreplanens generelle del og egne fagplaner, ha kjennskap til regelverket som gir rett til tilpasset opplæring, norskopplæring for språklige minoriteter samt opplæring i samisk og finsk. Kjenne til reformarbeid i skolen.

#### Innhold

- opplæringslov
- læreplan
- tilpasset opplæring
- skolereform

IKT

#### Mål

Studenten skal kunne reflektere over hvordan IKT kan brukes i undervisning på en hensiktsmessig og etisk riktig måte.

## Innhold

- IKT som undervisningsform
- Ungdom og bruk av internett
- IKT og likestilling
- Datateknologi og arbeidsmiljø
- Media og etisk regelverk
- Skolens nettsted

### 4.1.2 Modul 2: Skolesamfunnet i endring

Endring og innovasjon i skolen

#### Mål

Kjenne til lærerrollens mangfoldighet, være orientert om entreprenørskap i skolesammenheng, kunne reflektere over sentrale didaktiske utfordringer og konsekvenser av kjønn i skolehverdagen.

#### Innhold

- Lærerrollen i endring
- Skolesamfunnet, arbeidsliv og frivillige organisasjoner
- Innovasjonsstrategier i skolen
- Entreprenørskap i skolen, elevbedrift
- Likestilling og kjønn i skolen

Det flerkulturelle og internasjonale skolesamfunn

#### Mål

Ha kjennskap til regionens egenart, kunne reflektere over ulike utfordringer det flerkulturelle krever av skolen, og kjenne muligheter til å arbeide med internasjonale prosjekter i skolen.

#### Innhold

- Det flerkulturelle Nord-Norge: samisk og kvensk, nyinnvandring
- Det internasjonale Nord-Norge, historisk og i dag
- Skolen og internasjonalisering; internasjonale utvekslingsprogrammer, for eksempel Comenius, NordPluss og HiF:s egne internasjonale tiltak
- Likestilling, kjønn og det flerkulturelle,
- Religion og det flerkulturelle.

Skole, hjem og samfunn; skoles arbeidsmiljø

### Mål

Kjenne til hvordan skolen arbeider med andre instanser som har ansvar for barn og unges oppvekst og miljø, kunne samarbeide med disse, kunne ta i bruk modeller for å løse problemer og for å skape et godt arbeidsmiljø for alle i skolen.

### Innhold

- Skolesamfunnet, lærer, elev, foresatte
- Instanser med ansvar for barn og unges oppvekst og miljø
- Samarbeid mellom skole og hjem
- Modeller for å ivareta et godt arbeidsmiljø i skolen (intervensjons-, megling- og integreringsmodeller)

## 4.2 Fagdidaktikk i kroppssøving og idrettsfag – 20 studiepoeng

Fagets kjerne er bevegelse som oppleves med kroppen gjennom praktisk fysisk aktivitet. Fysisk aktivitet er en vesentlig forutsetning for barns fysiske, psykiske og sosiale utvikling. Allsidig kroppssøvningsundervisning i et positivt miljø kan motvirke uheldige sider ved denne utviklingen og bidra til å skape økt interesse for en fysisk aktiv og helsefremmende livsstil.

Kroppssøving og idrettsfag består av lek, dans, idrett, friluftsliv og annen form for fysisk aktivitet som er en viktig del av vår kultur.

Kroppssøving og idrettsfag har elementer fra bl.a. idrett, flere tradisjonelle humanistiske og naturvitenskapelige fag og kunstfag. Ny innsikt i kroppssøving og idrettsfag utvikles gjennom å benytte fagkunnskap og metoder fra disse ulike fagtradisjonene.

I praktisk pedagogisk utdanning er det fagdidaktikkens oppgave bl.a. å knytte den kompetansen studentene har fra idrettsfaglige studier sammen med pedagogisk og idrettspedagogisk kompetanse. Det er et siktemål at arbeidet med fagdidaktikk i kroppssøving og idrettsfag skal gi forståelse for sammenhenger mellom praksis og teori i praktisk-pedagogisk utdanning og i studentenes framtidige profesjon som lærere i kroppssøving og/eller idrettsfag.

I denne fagplanen er den fagspesifikke didaktikken bygd opp om følgende fire moduler:

- Kroppssøvningsfagets egenart, utvikling og legitimering
- Utviklingsarbeid og planarbeid
- Tilrettelegging og gjennomføring av undervisning
- Vurdering og veiledning

### 4.2.1 Modul 1 : Kroppssøvningsfagets egenart, utvikling og legitimering

#### Mål

Studentene skal tilegne seg kunnskap om fagets historie og utvikle et bevisst og aktivt forhold til legitimeringen av faget i dagens skole.

#### Innhold



- Historisk utvikling
- Verdier i kroppsøvfingsfaget: egenverdi og nytteverdi
- Pedagogisk grunnsyn
- Kroppsøvfingsfagets forhold til idretten

#### 4.2.2 Modul 2: Utviklingsarbeid og planarbeid

##### Mål

Studentene skal bli fortrolige med å lage planer i kroppsøvfingsfaget og utvikle evnen til vitenskapelig tenkemåte i forhold til forsøks- og utviklingsarbeid.

##### Innhold

- Læreplan, lokal læreplan, årsplan, periodeplan, øktplan
- Vitenskapelig tenkemåte i forhold til observasjon, analyse og fornying av praksis

#### 4.2.3 Modul 3: Tilrettelegging og gjennomføring av undervisning

##### Mål

Studentene skal utvikle sin evne til å planlegge, tilrettelegge og gjennomføre undervisning og se muligheter og alternative løsninger.

##### Innhold

- Didaktisk relasjonstenkning
- Undervisningsprinsipper- og metoder
- Arbeids- og organiseringsformer
- Tilpasset opplæring
- Prestasjonsorientert og mestringsorientert undervisningsklima

#### 4.2.4 Modul 4 : Vurdering og veiledning

##### Mål

Studentene skal utvikle evnen til refleksjon rundt vurdering og veiledning for å sikre et godt og likeverdig opplæringstilbud for alle.

##### Innhold

- Forskrifter
- Vurdering med og uten karakterer
- Skolevurdering og vurdering av egen undervisning
- Taksonomi

- Stimulerende veiledning

### 4.3 Fagdidaktikk i fremmedspråk – 20 studiepoeng

Fagplanen er felles for alle som underviser i fremmedspråk som skolen gir opplæring i og i norsk som andrespråk. Fagplanen er også ment for dem som underviser i minoritetsspråkene samisk og finsk, når disse språkene undervises som andrespråk, og ikke som morsmålsfag. Studiet kvalifiserer for undervisning i norsk grunnskole, videregående skole og i voksenopplæring.

Undervisning i fremmedspråk er viktig i den stadig mer internasjonale verden. De nasjonale minoritetsspråkene i Norge har fått en høyere status i de siste årene, og elever med samisk og kvensk bakgrunn har lovfestet rett til å lære sitt minoritetsspråk. Kunnskaper i fremmed- eller minoritetsspråk og -kultur er nyttige både i samfunnet og i yrkesliv, i studier og i privatliv.

Språkstudier skal tilrettelegges for alle elever. Derfor er det viktig å ha en praktisk orientering i språkdidaktikken. Kommunikativ språkundervisning skal være i fokus. Samtidig er det viktig at studentene også skaffer seg teoretisk kunnskap om hvordan språk læres i forskjellige miljøer: som førstespråk, andrespråk og fremmedspråk, og i formelle og uformelle kontekster.

Studiet har som mål å gi studentene faglige kunnskaper om språklæring og språkundervisning, å gi de mulighet til praktiske erfaringer i å undervise i språk, og å få dem til å utvikle evnen til å reflektere over språkdidaktiske spørsmål og sin egen virksomhet som veileder for elevenes språklæring.

#### 4.3.1 Modul 1: Teori, metoder og språkundervisning

##### Mål

Studentene skal bli kjent med de mest sentrale forskjellene mellom læring av førstespråk, andrespråk og fremmedspråk, og med tospråklig utvikling i hovedtrekk. De skal kjenne til de mest kjente metoder som har vært brukt i språkopplæring, spesielt i Norge, og forstå forholdet mellom teori og metode.

##### Innhold

- Førstespråk, andrespråk, fremmedspråk og tospråklighet
- Læringsteorier og språklæringsteorier
- Språkundervisningens historie i Norge, legitimering av språkundervisningen
- Metoder i språkundervisning

#### 4.3.2 Modul 2: Kommunikativ språkundervisning

##### Mål

Studentene skal få innsikt i teori om kommunikativ kompetanse, og i forskjell mellom kulturer som kan gjøre kommunikasjonen vanskelig. Studentene skal lære om prinsipper i

kommunikativ språkundervisning. Studentene skal få kjennskap til de viktigste faktorer som forårsaker forskjell mellom individer i språklæring.

#### Innhold

- Kommunikativ kompetanse
- Språk og kultur
- Kommunikativ språkundervisning
- Individuelle forskjeller og språklæring
- Estetiske fagene og språkundervisning

### 4.3.3 Modul 3: Utvikling av språkferdigheter

#### Mål

Studentene skal få innsikt i hvordan man arbeider i klasserommet for å utvikle muntlige og skriftlige språkferdigheter. De skal få kjennskap til arbeidsmåter for å utvikle ferdigheter i grammatikk og ordforråd i klasserommet.

#### Innhold

- Muntlige ferdigheter: lytte og snakke
- Skriftlige ferdigheter: lese og skrive
- Spesifikke ferdigheter: grammatikk og ordforråd
- Arbeidsmåter i språkundervisning

### 4.3.4 Modul 4: Planlegging og evaluering

#### Mål

Studentene skal lære om hvordan man planlegger undervisningen i språkfag. De skal få innsikt i grunnleggende prinsipper i evaluering av språkferdigheter og lære om hvilke typer prøver som er vanlige i evalueringen. De skal bli kjente med det europeiske rammeverket for språkopplæringen.

#### Innhold

- Planlegging og organisering av undervisning
- Språkfagene i tema- og prosjektarbeid i skolen
- Vurdering av muntlige og skriftlige ferdigheter
- Utarbeiding av prøver
- Det europeiske rammeverket for språkopplæringen

## 4.4 Fagdidaktikk i samfunnsfag – 20 studiepoeng

#### Mål

Samfunnsfag didaktikk skal kvalifisere studenter som har ett eller flere samfunnsfag i fagkretsen for å undervise i det integrerte samfunnsfaget som man finner det i grunnskolen og historie, geografi og samfunnskunnskap/samfunnslære i den videregående skole.

Fagdidaktikken omfatter sentrale spørsmål i forhold til yrkeskvalifikasjoner og arbeidsoppgaver, faglig funderte kunnskaper, metodeproblemer, pedagogiske vurderinger og opplærings-, yrkes- og samfunnsrelaterte spørsmål. Det blir tatt opp spørsmål om fagets innhold, hvorfor arbeider man med faget og hvordan man arbeider med faget.

Gjennom teori og praksis skal studentene lære å reflektere over sammenhengen mellom studiefag, skolefag og praksis. Studenten skal utvikle kompetanse i forhold til planlegging, gjennomføring og kritisk vurdering av undervisning og læring.

Siktemålet med studiet er at studentene skal:

- Få kunnskap og innsikt i fagtradisjoner og i læreplanverk som grunnlag for planlegging og gjennomtenking av undervisning i skolefaget
- Kunne analysere og vurdere sammenhengen mellom læreplanens generelle del og fagplanenes målsetning og innhold
- Kunne analysere og vurdere lærestoff, læremidler og ulike arbeidsformer i lys av fagenes egenart og elevenes forutsetninger for læring
- Få kunnskap/refleksjon om ulike former for vurdering og veiledning i samfunnsfag
- Få trening i å planlegge, gjennomføre og vurdere egen undervisning
- Få erfaring med å bruke ulike arbeidsformer i undervisningen med særlig vekt på elevaktive læringsformer
- Få innsikt i fagenes plass i skolen og samfunnet

#### 4.4.1 Modul 1: Samfunnsfagenes historie og samfunnsfaglige verdier

##### Mål

Studiet skal gi studenten en oversikt over hovedtrekk i samfunnsfagenes historie gjennom kunnskap om klassikerne og hovedretninger innen teoriutviklingen. Videre skal studiet gi kunnskap om de gjensidige forhold mellom teoriutvikling innen ulike samfunnsfag og pedagogikk. Studenten skal utvikle kunnskap om samfunnsfaglig undervisning i skolen.

##### Innhold

- Samfunnsvitenskapelig teori
- Fagdidaktiske tradisjoner
- Konstruktivismen i samfunnsvitenskap
- Konstruktivismen i kunnskaps- og læringssyn
- Samfunnskunnskapens egenverdi
- Verdi- og samfunnssyn
- Samfunnslære i skolen

#### 4.4.2 Modul 2: Utviklings - og planarbeid

##### Mål

Studiet skal gi innsikt i både fagsentrert og elevsentrert læreplanarbeid. Studenten skal vinne kunnskap om skolen som sosial organisasjon og hvordan læreplanarbeidet i samfunnsfag kan skje i forhold til skolens verdier, skolens utvikling og utdanningsreformer. Videre skal studiet utvikle forståelse for hvordan kompetanse heving mht. innovasjon og entreprenørskap må ses i sammenheng med lærings- og veiledningsstrategier.

#### 4.4.3 Modul 3: IKT i samfunnet og IKT i skolen

##### Mål

Studiet skal gi innsikt i informasjons- og kunnskapsteknologiens betydning for samfunnsutviklingen. Videre skal det gi kunnskap om hvordan IKT (Informasjons- og kunnskapsteknologi) som basisferdighet kan brukes i samfunnsfag og fremme læringsmiljø.

##### Innhold

- Digitale læringsverktøy
- Digital kompetanse
- Digital dannelse
- Digital hukommelse
- Digitale, sosiale nettverk

#### 4.4.4 Modul 4: Tilrettelegging, gjennomføring og vurdering av undervisning og læreprosesser

##### Mål

Studiet skal gi kunnskap om hvordan samfunnsfagundervisning kan tilrettelegges i den integrerte og inkluderende skole. Det skal gi studenten innsikt hvordan undervisning og læring kan gjennomføres og tilpasses en flerkulturell virkelighet med respekt for skolens verdier mht. likestilling. Videre skal studenten utvikle kritisk forståelse for lærerroller i endring særlig med tanke for veilederrollen i prosjektundervisning og ved bruk av IKT.

##### Innhold

- Den inkluderende skole
- Individuelt tilpasset opplæring
- Læringsmodeller

- Læringsstrategier
- Veiledningsmodeller
- Atferdsteori og ”intervensjonsmodeller”
- Evalueringsformer

## 4.5 Formativ vurdering

Vurdering er en naturlig del av studiet. Vurderingen har som formål å gi studentene tilbakemelding på egen utvikling i forhold til studiets mål, og gi studentene erfaringer i vurderingsarbeid i forhold til sin framtidige oppgave som lærer.

Samlingsbaserte studier gjør at klassen som faglig og organisatorisk forum er lite egnet som læringsarena. Derfor er basisgruppene primærarena for læring og utvikling. Basisgruppene og dets tillitsvalgte trekkes aktivt inn i planleggingen av modulene.

Prosessuelle læringsformer er faglig veiledning av studenter individuelt og i basisgrupper. Dette gjelder gjennom praksisbesøk, skriving av logg, løsning av mindre oppgaver og gruppebaserte prosjekt.

### 4.5.1 Arbeidskrav

#### Mappeoppgaver

Studentene skriver to mappeoppgaver i løpet av studiet. Mappedokumentene skal ta utgangspunkt i tema som har fagdidaktisk relevans. Den ene av oppgavene skal være knyttet mot egen lærerpraksis. I arbeidet med mappene skal det gis formativ vurdering ved at det flere ganger underveis innhentes tilbakemeldinger fra medstudenter og lærere. Tilbakemeldingene kan innhentes gjennom arbeid i kollokviegrupper eller gjennom classfronter. Tilbakemeldingene skal være inkludert i mappene når de leveres til endelig vurdering.

En av oppgavene leveres til summativ vurdering. Studenten velger selv hvilken oppgave dette skal være. I tillegg er det et arbeidskrav at den andre oppgaven blir godkjent.

Den ene av oppgavene skal leveres i høstsemesteret.

Den andre oppgaven må være levert senest tre uker før muntlig eksamen i vårsemesteret. Hver av mappene skal ha en lengde på ca 3000 ord.

#### Veiledningsdokumenter

Det skal leveres to veiledningsdokumenter fra praksisperioden. I hvert dokument skal det inngå både egenvurdering og øvingslærers vurdering av praksisstudentens undervisning. Hvert av veiledningsdokumentene med tilhørende vurdering skal ha en lengde på ca 1000 ord.

#### Refleksjonsnotat

Det skal leveres et refleksjonsnotat à 1000-2000 ord.

I notatet skal følgende være tatt opp:

- Hvordan du har opplevd forholdet mellom teori og praksis
- Vurdering av utbyttet av studiet
- Kritikk av studiet (både positiv og negativ)

### Praksis

I løpet av studieåret skal hver student ha 6 ukers veiledet praksis. Faglærer avtaler med studenten når praksis skal skje. Veileder/ øvingslærer skriver en tilbakemelding på praksis til hver student. Til dette brukes HIFM's skjema for praksisvurdering. Praksisperioden vurderes til bestått/ ikke bestått. For mer informasjon om praksis, se kapittel 2.6.2.

All undervisning er obligatorisk og det er nærværspålit.

Før studenten kan gå opp til muntlig eksamen, må alle arbeidskravene ovenfor være oppfylt til bestått.

## 4.6 Summativ vurdering

- Mappeoppgaven som leveres til summativ vurdering teller 50 %
- Individuell muntlig eksamen teller 50 %

Både mappeoppgaven og den muntlige eksamenen må være bestått for at studiet skal være fullført.

## 4.7 Litteratur

Litteraturlistene revideres kontinuerlig. For hvert av studieårene skal det være ca 2000 sider. Litetraturlister for de ulike fagene gis ut av faglærere i eget skriv.

# 5 Yrkesdidaktikk, 2. studieår

## 5.1 Yrkesdidaktikk - 30 studiepoeng

Innholdet i studiet er ordnet i 4 moduler. Hver modul er konkretisert med underpunkter.

### 5.1.1 Modul 1: Yrkesdidaktikk kompetanse, 10 stp.

Mål- og temaområder

Målområdet omfatter lærerens daglige arbeid med elever/lærlinger i skolens ulike læringsarenaer. Planlegging, gjennomføring og vurdering av undervisning og læring er kjerneoppgavene og omfatter lærerens samarbeid med enkeltelever, med elever i større grupper og med andre aktører og institusjoner.

Temaer:

- elevforutsetninger og tilpasset yrkesopplæring.
- planlegge, gjennomføre og vurdere yrkesopplæring.
- læreplaner og læreplanarbeid i lys av ulike kunnskaps- og læringssyn

- didaktiske tradisjoner og modeller, deres bruk og begrensninger
- bibliotek og IKT som redskaper i yrkesopplæring
- tilrettelegge for elevmedvirkning i elevens egen læringsprosess

### 5.1.2 Modul 2 : Læreren og organisasjonen, 5 stp

Målområdet omfatter organisasjons-, ledelses- og samarbeidsoppgaver som ligger utenom, men som legger viktige rammer for det daglige læringsarbeidet.

Tema:

- samarbeid skole - bedrift
- kjenne til skolens/bedriftens organisering og forstå dens strategi, mål og aktiviteter som rammer for læringsarbeidet
- delta i ulike typer utviklingsarbeid og kunne vurdere og bidra til skolens/bedriftens videre utvikling som læringsarena og arbeidsplass
- vurdere og utvikle det totale miljøet på skolen / i bedriften: det fysiske og psykososiale samt sosiale relasjoner mellom lærere og elever/lærlinger.
- yrkesfagenes utvikling og plass i arbeidslivet i et historisk perspektiv

### 5.1.3 Modul 3 : Læreren og samfunnet, 5 stp.

Målområdet omhandler lærerens forståelse for sammenhengen mellom samfunnsutviklingen, opplæringens verdigrunnlag, yrket og pedagogisk praksis. Læreren må kunne begrunne og utvikle fagforståelsen og opplærings- og organisasjonsformer ut fra et slikt samfunnsperspektiv. Det innebærer vilje til og ferdigheter i å ta et ansvar ikke bare for seg selv, men for det samfunn som profesjonsutøveren er en del av.

Tema:

- skolens rolle som samfunnsinstitusjon og kulturbærer i lokalmiljøet
- kompetansebehov i samfunn og arbeidsliv: lokalt, nasjonalt og internasjonalt
- yrkesetikk og yrkesstolthet

### 5.1.4 Modul 4 : Organisering og ledelse av yrkesopplæring i skolen , 10 stp.

Innføring i dette målområdet legger særlig vekt på organisering og ledelse i skolens ulike læringsarenaer. Dette vil være et viktig grunnlag for å arbeide videre med organisasjons- og ledelsesoppgaver i et videre perspektiv innen studieretningene. Videre arbeid med dette målområdet fokuserer på yrkesfaglærerens organisasjons- og ledelsesoppgaver i skolen og ved praksis i bedrifter.

Temaer:

- organisering- og samarbeidsformer i lys av yrkesopplæringens behov
- arbeidslivskultur, skolekultur og likestilling
- samarbeidsformer og arbeidsledelse i skole, versus arbeidsliv.
- endring og utviklingsarbeid i yrkesfaglig opplæring
- veiledning og veiledningsstrategier i skolen
- mester/svenn perspektivet i yrkesopplæringen



## 5.2 Formativ vurdering

Vurdering er en naturlig del av studiet. Vurderingen har som formål å gi studentene tilbakemelding på egen utvikling i forhold til studiets mål, og gi studentene erfaringer i vurderingsarbeid i forhold til sin framtidige oppgave som lærer.

Samlingsbaserte studier gjør at klassen som faglig og organisatorisk forum er lite egnet som læringsarena. Derfor er basisgruppene primærarena for læring og utvikling. Basisgruppene og dets tillitsvalgte trekkes aktivt inn i planleggingen av modulene.

Prosessuelle læringsformer er faglig veiledning av studenter individuelt og i basisgrupper. Dette gjelder gjennom praksisbesøk, skriving av logg, løsning av mindre oppgaver og gruppebaserte prosjekt.

### 5.2.1 Arbeidskrav

#### Mappeoppgaver

Studentene skriver to mappeoppgaver i løpet av studiet. Mappeoppgavene skal ta utgangspunkt i tema som har fagdidaktisk relevans. Den ene av oppgavene skal være knyttet mot egen lærerpraksis. I arbeidet med mappeoppgavene skal det gis formativ vurdering ved at det flere ganger underveis innhentes tilbakemeldinger fra medstudenter og lærere. Tilbakemeldingene kan innhentes gjennom arbeid i kollokviegrupper eller gjennom classfronter. Tilbakemeldingene skal være inkludert i mappene når de leveres til endelig vurdering.

En av oppgavene leveres til summativ vurdering. Studenten velger selv hvilken oppgave dette skal være. I tillegg er det et arbeidskrav at den andre oppgaven blir godkjent.

Den ene av oppgavene skal leveres i høstsemesteret.

Den andre oppgaven må være levert senest tre uker før muntlig eksamen i vårsemesteret.

Hver av mappeoppgavene skal ha en lengde på ca 3000 ord.

#### Veiledningsdokumenter

Det skal leveres to veiledningsdokumenter fra praksisperioden. I hvert dokument skal det inngå både egenvurdering og øvingslærers vurdering av praksisstudentens undervisning. Hvert av veiledningsdokumentene med tilhørende vurdering skal ha en lengde på ca 1000 ord.

#### Refleksjonsnotat

Det skal leveres et refleksjonsnotat à 1000-2000 ord.

I notatet skal følgende være tatt opp:

- Hvordan du har opplevd forholdet mellom teori og praksis
- Vurdering av utbyttet av studiet
- Kritikk av studiet (både positiv og negativ)

#### Praksis

I løpet av studieåret skal hver student ha 6 ukers veiledet praksis. Faglærer avtaler med studenten når praksis skal skje. Veileder/ øvingslærer skriver en tilbakemelding på praksis til hver student. Til dette brukes HIFM's skjema for praksisvurdering. Praksisperioden vurderes til bestått/ ikke bestått. For mer informasjon om praksis, se kapittel 2.6.2.

All undervisning er obligatorisk og det er nærværspåkt.  
Før studenten kan gå opp til muntlig eksamen, må alle arbeidskravene ovenfor være oppfylt til bestått.

### 5.3 Summativ vurdering

- Mappeoppgaven som leveres til summativ vurdering teller 50 %
- Individuell muntlig eksamen teller 50 %

Både mappeoppgaven og den muntlige eksamenen må være bestått for at studiet skal være fullført.

### 5.4 Litteratur

Litteraturlistene revideres kontinuerlig. For hvert av studieårene skal det være ca 2000 sider. Litteraturlister for de ulike fagene gis ut av faglærere i eget skriv.

# Læringsmåldokument Anatomi & bevegelseslære

## studieåret h14/v15

Dette dokumentet er en utdyping av emnebeskrivelsen. Alle kulepunktene i emnebeskrivelsen (fet type) er konkretisert med underpunkter.

### *Kunnskaper*

#### ● **Ha grunnleggende kunnskap om muskel- skjelettsystemets oppbygning og funksjon, med særlig fokus på bevegelser**

- Kunne klassifisere og gi eksempler på hovedtyper av knokler
- Kunne anvende latinske navn på knokler (unntatt de mindre viktige distale knoklene i hender og føtter)
- Vite oppbygningen til hengselledd, dreieledd og kuleledd og hvilke av kroppens ledd som er av de ulike typene
- Vite de viktigste oppgavene til skjelettet og skjelettsystemet og kunne argumentere for at oppbygningen er egnet for å ivareta disse oppgavene
- Kunne beskrive bevegelser og bevegelsesretninger ved bruk av latinske begrep
- Kunne gi eksempler på relasjoner mellom muskelnavn og utsprings- og festested
- Kunne beskrive bevegelser i de tre planene (horisontal-, frontal- og sagittalplanet)
- Vite at muskler bare kan utvikle kraft i sammentrekningsretningen
- Kunne resonnerer seg til skjelettmusklers hovedfunksjon ut fra deres utspring og feste
- Kunne anvende muskelfunksjonsnavn (ledd og funksjon, f.eks. hofteflektor, hofteekstensor, hofteabduktor, hofteadduktor)
- Kunne beskrive musklernes mulige arbeidsmåter (isometrisk og dynamisk: konsentrisk, eksentrisk, plyometrisk)

#### ● **Kunne beskrive muskelkontraksjonsprosessen og ha innsikt forhold som bestemmer musklers evne til kraftutvikling**

- Kunne skille mellom de tre hovedtypene av muskelvev
- Kunne beskrive skjelettmusklers oppbygning og hva som skjer ved en muskelkontraksjon:
  - på overordnet nivå: sener og muskelbuk
  - på detaljnivå: hvordan sarkomerer er oppbygd og hvordan de kontraktile proteinene samvirker ved en muskelkontraksjon
- Kunne beskrive forskjeller mellom type 1, 2A og 2X- muskelfibre på proteinnivå
- Kunne gjøre rede for muskelfibertypesammensetningens betydning for idrettsprestasjon
  - Ha oversikt over typisk muskelfibertypesammensetning blant topputøvere i ulike idretter
  - Ha oversikt over ulike muskelfibertypers evne til å utvikle kraft ved ulike forkortningshastigheter
- Kunne gjøre rede for muskelfysiologiske faktorer som bestemmer evne til maksimal kraftutvikling for en gitt muskelfiber (uavhengig av om type 1, 2A eller 2X):
  - Elastiske egenskaper i tverrbroer og cytoskjelettet

- Muskelens utgangslengde
- Muskelens forkortningshastighet
- Muskelens tverrsnitt
- Muskelarkitektur
- Antall muskelfibrer som er aktive
- De aktive muskelfibrenes kraftutvikling i % av sitt maksimale
- Kunne beskrive en motorisk enhet og forklare hvordan den fungerer
- Kunne forklare fjærstivhetens betydning for idrettsprestasjon i konkrete eksempler
- Kunne drøfte betydningen av sentralbevegelse for idrettsprestasjon i konkrete eksempler

### ● **Kjenne utspring, feste og funksjon for kroppens sentrale muskler**

- Bevegelser i virvelsøyla
  - Kjenne ryggvirvlernes oppbygning, inkl. mellomvirvelskiver og de viktige bånd
  - Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste
  - M. Erector spinae
  - M. Rectus abdominis
  - M. Obliquus externus abdominis
  - M. Obliquus internus abdominis
  - M. transversus abdominis
  - M. Quadratus lumborum
  - Kunne beskrive styrke- og tøyøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon
- Bevegelse av skulderbuen
  - Kjenne skulderbuens oppbygning
  - Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste
  - M. Trapezius
  - M. Levator scapulae
  - M. Rhomboideus
  - Kunne beskrive styrke- og tøyøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon
- Bevegelser i skulderleddet
  - Kjenne skulderleddets oppbygning
  - Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste
  - M. Pectoralis major
  - M. Deltoideus
  - M. Latissimus dorsi
  - M. Supraspinatus
  - M. Teres major
  - Kunne beskrive styrke- og tøyøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon
- Bevegelser i albuleddet
  - Kjenne albuleddets oppbygning
  - Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste
  - M. Biceps brachii

-M. Brachialis

-M. Triceps brachii

▪Kunne beskrive styrke- og tøyeøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon

■ Bevegelser i hoftelrådet

▪ Kjenne hoftelrådets oppbygning, inkl viktige bånd

▪ Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste

-M Gluteus maximus

-M Gluteus medius

-M Gluteus minimus

-M. Adduktur magnus

-M. Iliacus

-M. Psoas major

▪Kunne beskrive styrke- og tøyeøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon

■ Bevegelser i kneleddet

▪ Kjenne kneleddets oppbygning, inkl. viktige bånd

▪ Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste

-M. Vastus lateralis

-M. Vastus intermedius

-M. Vastus medialis

-M. Rectus femoris (kan også bøye i hofte)

-M. Semimembranosus (kan også strekke i hofte)

-M. Semitendinosus (kan også strekke i hofte)

-M. Biceps femoris (det lange hodet kan også strekke i hofte)

▪Kunne beskrive styrke- og tøyeøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon

■ Bevegelser i ankel- og ristledd

▪ Kjenne ankel- og ristleddets oppbygning, inkl. viktige bånd

▪ Vite de viktigste musklene i alle bevegelsesretningene, samt deres utspring og feste

-M. Gastrocnemius (kan også bøye i kneet)

-M. Soleus

-M. Tibialis posterior

-M. Flexor digitorum longus

▪Kunne beskrive styrke- og tøyeøvelser for hver muskel ovenfor, samt vurdere øvelsenes egnethet for å påvirke ulike typer idrettsprestasjon

▪Ha oversikt over bånd som skades ved inversjons- og plantarfleksjonsovertråkk i ankel

● **Kunne vurdere tekniske bevegelsesløsninger i idrett ut fra biomekaniske betraktninger**

■ Kunne de grunnleggende ferdighetene for matematiske operasjoner

■ Ha innsikt i momentarmforhold

▪ Indre momentarmer

▪ Ytre momentarmer

- Torque: kraft \* momentarm
- Beregning av momentarmer ut fra kraftretninger i bl.a. styrketrenings-øvelser

■ Kunne forklare innholdet i hvert av begrepene nedenfor ved bruk av idrettsrelaterte eksempler

- Tyngdepunkt (også kalt massemiddepunkt).
- Masse. Symbol: m
- Jordgravitasjonen (er en akselerasjon med retning mot jorda sentrum som virker på alle legemer på jorda). Symbol: g
- Akselerasjon. Symbol: a (a= hastighetsendring/ tid)
- Kraft. Symbol: F (F= m\*a)
- Arm, også kalt vektarm. Symbol: r
- Moment, også kalt dreiemoment, Symbol: M
- Trykk. Symbol: p (p= F/ areal)
- Arbeidsvei. Symbol: s
- Arbeid. Symbol: A (A= F\*s)
- Kraftstøt
- Kinetisk energi, også kalt bevegelsesenergi (symbol: E<sub>kin</sub>)
- Potensiell energi, også kalt stillingsenergi (symbol: E<sub>pot</sub>)
- Bevegelsesmengde (symbol: p (p=m\*v))
- Trehetsmoment. Symbol: I (I= m\* r<sup>2</sup>)
- Spinn. Symbol: S (S= I\*Ω)
- Delspinn
- Luftstrømninger
- Effekt, det engelske begrepet er power. Symbol: P (P= F \* s/t)

■ Kunne anvende formlene nedenfor i utregninger relatert til idrett.

$$F = m*a$$

$$M = F*r$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m*v^2$$

$$E_{pot} = m*g*h$$

$$F*s = \frac{1}{2} m*v^2 \text{ (ved startfart= 0)}$$

$$F*t = m*v_e - m*v_0 \text{ (der } v_0 = \text{ før støtet og } v_e = \text{ etter støtet)}$$

$$m_1*v_0 + m_2*v_0 = m_1*v_e + m_2*v_e$$

$$I = m*r^2$$

$$S = I*\Omega$$

$$\sin \alpha = \text{motstående katet: hypotenus}$$

$$\cos \alpha = \text{hosliggende katet: hypotenus}$$

$$\tan \alpha = \text{motstående katet: hosliggende katet}$$

$$\text{Power} = F * s/t = F * v$$

- Kunne vurdere teknikk og foreslå alternative bevegelsesløsninger ut fra et biomekanisk perspektiv

## Ferdigheter

- Ha erfaring med å gjennomføre idrettsfysiologiske tester, og kunne

## **tolke og bearbeide data**

- Måling av isokinetisk styrke ved ulike vinkelhastigheter
- Kraftplattformmålinger ved ulike satsvarianter
- Elektromyografiske målinger (målinger av muskelaktivitet med overflate- EMG)

## **● Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster**

- Kjenne til hvordan naturvitenskapelige forskningsartikler vanligvis er bygget opp (Abstract, Introduction, Methods, Results, Discussion, Conclusion, References)
- Kunne trekke ut og bruke informasjon fra forskningsartikler i andre kontekster

# Læringsmåldokument Treningslære studieåret h14/v15

Dette dokumentet er en utdyping av emnebeskrivelsen. Alle kulepunktene i emnebeskrivelsen (fet type) er konkretisert med underpunkter.

*Kunnskaper:*

- **Kjenne generelle prinsipper og metoder innen treningsplanlegging**

- Kunne forklare gangen i en treningsplanleggingsprosess
- Kunne utarbeide og anvende arbeidskravs- og kapasitetsanalyser
- Ha innsikt i hvert av de grunnleggende treningsprinsippene og kunne vurdere deres innbyrdes viktighet i ulike kontekster
- Kunne utarbeide treningsplaner for både lengre og kortere perioder
  - med hensyn til fornuftige kortsiktige og langsiktige mål
  - med hensyn til formtopping
- Ha kunnskaper om bolkeleggingsprinsippet
- Ha kunnskaper om effekter av å trene utholdenhets- og styrketrening i samme treningsøkt

- **Ha oversikt over organiske egenskaper som er særlig viktige for prestasjonen i ulike typer idretter**

- **Kunne beskrive kroppens respons på ulike typer trening og kunne anvende kunnskapen ved planlegging av trening**

De to kulepunktene over er har ulikt innhold for ulike typer trening. Nedenfor er kulepunktene innhold satt opp for temaene «Oppvarming, Motorisk læring, Trening av styrke, Trening av hurtighet og spenst, Trening av bevegelighet, Trening av utholdenhet». Oppbyggingen blir dermed i samsvar med hvordan undervisningen blir lagt opp.

## Oppvarming

- Kjenne til de fysiologiske prosessene som skjer ved økt kroppstemperatur og hvilken betydning det har for skadeforebygging og prestasjon
- Kunne legge opp egnet oppvarming (generell og spesiell del) i forhold til den etterfølgende aktiviteten

## Motorisk læring

- Kjenne de koordinative egenskapene og deres fysiologiske og psykologiske grunnlag
- Kunne legge opp generell og spesifikk koordinasjonstrening
- Kjenne modellen for stegene i teknikkinnlæringsprosessen
- Kjenne betydningen av eksternt fokus for optimalisering av prestasjon i kraft/hurtighetsidretter og idretter med høye tekniske krav



- Kunne legge opp koordinasjons- og teknikktraining tilpasset utøveres forutsetninger og idretten de trener for å bli bedre i
- Kunne diskutere hensiktsmessig teknikk utfra utøvernes fysiske og koordinative egenskaper og tekniske ferdigheter.

#### Trening av styrke

- Kjenne de bestemmende faktorene for styrke
- Ha oversikt over sentrale adaptasjoner til styrketrening
- Ha oversikt over treningsprinsipper- og metoder for styrketrening
- Ha oversikt over begrepene trenings- motstand, intensitet, volum, belastning og frekvens og vite hvordan disse kan justeres for optimal styrkefremgang
- Kunne legge opp styrketreningsprogram tilpasset utøveres forutsetninger og idretten de trener for å bli bedre i
- Ha kunnskaper om styrketrenings effekt på sykkelprestasjon og effekt av vibrasjonsstyrketrening (er blant forskningsområdene på HiL idrett)

#### Trening av hurtighet og spenst

- Ha god oversikt over fysiske egenskaper som er viktige for god spenst og hurtighet
- Ha god forståelse av sammenhengen mellom muskelstyrke og spenst/ hurtighet
- Kjenne skillet mellom hurtighet i ”lineære” og ”åpne” idretter og konsekvenser dette har for anbefalt trening
- Kunne legge opp spenst- og hurtighetstrening tilpasset utøveres forutsetninger og idretten de trener for å bli bedre i

#### Trening av bevegelighet

- Vite hvilke forhold som kan begrense bevegeligheten
- Kunne gjøre gode vurderinger av hvor stort det maksimale leddutslaget bør vær
  - Utfra en persons bevegelsesoppgaver i dagliglivet
  - Utfra en persons muskelstyrke og evne til å stabilisere ledd
  - Utfra hva som er mest gunstig for idrettsprestasjon
- Kunne argumentere for/ mot evt. tøyning tidlig i treningsøkt
- Kunne legge opp passende bevegelighetstrening for ulike målgrupper
  - Vite muskelnavn, utspring og feste
  - Velge og begrunne passende tøyningsovelser og tøyningmetoder tilpasset den enkelte person/ utøver
- Kjenne vanlige øvelser for å teste maksimalt leddutslag

#### Trening av utholdenhet

- Kjenne det organiske grunnlaget for aerob utholdenhet
  - Respirasjonsorganene
  - Kretsløpsorganene
  - Hjertet
  - Kretsløp og blodårer

-Blodvolum og hemoglobininnhold

- Muskelcellene

-Mitokondrieinnhold

-Myoglobininnhold

-Fettinnhold

-Glykogeninnhold

-Aerobe enzymer

- Kjenne fysiologiske forhold av viktighet for utholdenhetsprestasjon

- Maksimalt oksygenopptak

- Minuttvolum

- AV- O<sub>2</sub>- differanse

- Arbeidsøkonomi

- Utnyttingsgrad

- Laktatprofil

- Anaerob kapasitet

- Kjenne metodene for utholdenhetstrening

- Kjenne intensitetssonene som er typisk å referere til ved utholdenhetstrening

- Kunne legge opp utholdenhetstrening tilpasset utøveres forutsetninger og idretten de trener for å bli bedre i

## ● **Ha oversikt over generelle tiltak for å forebygge og behandle idrettsskader**

- Ha oversikt over mekanismene ved de vanligste idrettsskadene

- Utbredte akutte skader

- Utbredte belastningsskader

- Kjenne hvordan de vanligste idrettsskadene kan forebygges og behandles

- Utbredte akutte skader

- Utbredte belastningsskader

## *Ferdigheter*

### ● **Kunne anvende treningsprinsipper og treningsmetoder ved gjennomføring av trening**

- Prinsipper: Belastning og tilpasning; Helhetlig og individuell stimulering; Progresjon, Spesifisitet, Variasjon og Periodisering

- Metoder: Disse varierer mellom de ulike treningstypene (motorikk, styrke, hurtighet, spenst, bevegelse og utholdenhet)

### ● **Kunne gjennomføre tester av fysisk prestasjonsutvikling og vurdere testenes validitet**

- Kunne redegjøre for begrepene reliabilitet og validitet

- Kunne gjennomføre tester av motorikk, styrke, hurtighet, spenst, bevegelse og utholdenhet)

● **Ha erfaring med å lese forskningsartikler og kunne anvende relevant informasjon i andre kontekster**

- Kjenne til hvordan naturvitenskapelige forskningsartikler vanligvis er bygget opp (Abstract, Introduction, Methods, Results, Discussion, Conclusion, References)
- Kunne trekke ut og bruke informasjon fra forskningsartikler i andre kontekster (studieåret h14/v15 er dette punktet særlig sterkt knyttet til arbeidskrav 2. Et godt tips: repetér også de fire siste sidene i «Kompendium matematikk og grunnleggende biomekanikk» som var pensum i Anatomi og bevegelseslære).



Kompendium i matematikk og grunnleggende biomekanikk

# IDR 1016 Anatomi og bevegelseslære

**Høsten 2014**

**Skrevet av Geir Vegge**



**Høgskolen  
i Lillehammer**

Lillehammer University College • [hil.no](http://hil.no)

## Forord

Dette kompendiet er pensum i emnet Anatomi og bevegelseslære på 1. år bachelor idrett ved HiL og omhandler matematikk og grunnleggende biomekanikk. Bakgrunnen for å lage kompendiet er erfaringer fra tidligere år om at mange studenter har manglende kompetanse i disse tema ved studiestart. Slik kompetanse er grunnleggende for læringsarbeidet rundt emnets læringsutbytttemål «kunne vurdere tekniske bevegelsesløsninger i idrett ut fra biomekaniske betraktninger».

Undervisningen i emnets fire første dobbelttimer vil være lagt opp rundt kompendiets innhold. Ved undervisning i temaene tekniske bevegelsesløsninger og biomekanikk senere i semesteret, forutsettes det at studentene behersker det faglige innholdet i kompendiet. Kompendiet er delt inn i følgende tema:

- Oppløsning av parenteser
- Løsning av likninger
- Formelregning
- Trigonometri
- Dreiemoment
- Grunnleggende sannsynlighetsregning
- Sannsynlighetsregning brukt i forskningsartikler

3. september 2014

Geir Vegge

## Oppløsning av parenteser

Viktige regler for regning med parenteser:

- Pluss foran parentes: parentesen kan fjernes
- Minus foran parentes: fjern parentesen og skift samtidig fortegn på leddene inni parentesen
- Tall ganget med parentes: gang tallet med hvert ledd i parentesen
- Parentes ganget med parentes: gang hvert ledd i den ene parentesen med hvert ledd i den andre
- Dra sammen leddene inni parentesen dersom det bare er én type ledd

I eksemplene nedenfor er reglene for oppløsning av parenteser benyttet.

$$\text{Eks. 1:} \quad 3 + (x - 2) = 3 + x - 2 = x + 1$$

$$\text{Eks. 2:} \quad 3 - (x - 2) = 3 - x + 2 = -x + 5$$

$$\text{Eks. 3:} \quad 3 * (x - 2) = 3 * x - 3 * 2 = 3x - 6$$

$$\begin{aligned} \text{Eks. 4:} \quad (x + 4)(2x + 1) &= x * 2x + x * 1 + 4 * 2x + 4 * 1 \\ &= 2x^2 + x + 8x + 4 \\ &= 2x^2 + 9x + 4 \end{aligned}$$

$$\text{Eks. 5:} \quad 2(3 + 1) = 2 * 3 + 2 * 1 = 6 + 2 = 8$$

$$\text{Eksempel 5 kan også løses slik: } 2(3 + 1) = 2(4) = 8$$

$$\text{Eks. 6:} \quad (3x + x)(x + 2) = 4x * (x + 2) = 4x * x + 4x * 2 = 4x^2 + 8x$$

## Løsning av likninger

Viktige regler for løsning av likninger:

- Samle x- ledda på venstre side av likhetstegnet og andre ledd på høyre side
- Skift fortegn når du flytter ledd til andre siden av likhetstegnet
- Dra sammen x- ene og tallene hver for seg
- Man kan dele/ gange innholdet på begge sider av likhetstegnet med det samme tallet/ symbolet
- Kvadratiske likninger kan løses ved å trekke ut kvadratroten (får to svar: positivt og negativt tall)
- Ved gangning av brøker: gang teller med teller og nevner med nevner

- Å dele en brøk med en annen brøk er det samme som å gange med den omvendte brøken (f.eks er  $\frac{1}{3} : \frac{1}{4}$  det samme som  $\frac{1}{3} * \frac{4}{1}$ )

I eksemplene nedenfor er reglene for løøsning av likninger benyttet.

Eks. 7:  $4x - 3 = 7 - x$  Ved å flytte over og skifte fortegn får vi:

$$4x + x = 7 + 3$$

Ved å samle x- ledda på venstre side av likhetstegnet og dra sammen x- ene og tallene hver for seg får vi:

$$5x = 10$$

Ved å dele med tallet foran x på begge sider av likhetstegnet får vi:

$$x = 2$$

Eks. 8:  $2x^2 = 72$  Ved å dele med tallet foran x på begge sider av likhetstegnet får vi:

$$x^2 = 36$$

$$\sqrt{x^2} = \sqrt{36}$$

$$x = \sqrt{36}$$

$$x = \pm 6$$

Eks. 9:  $\frac{x}{2} * \frac{x}{4} = 8$  Ved å gange teller med teller og nevner med nevner får vi:

$$\frac{x^2}{8} = 8$$

Ved å gange innholdet på begge sider av likhetstegnet med det samme får vi:

$$8 * \frac{x^2}{8} = 8 * 8$$

$$x^2 = 64$$

$$\sqrt{x^2} = \pm \sqrt{64}$$

$$x = \pm 8$$

## Formelregning

Eks. 10: Gjennomsnittsfarten  $v$  man har hatt på en løøpetur kan uttrykkes som strekningen  $s$  man har tilbakelagt delt på tida  $t$  man har brukt, altså  $v = \frac{s}{t}$

Nedenfor vises hvordan man ved hjelp av de samme tre symbolene kan finne et uttrykk for  $s$ .



$$v = \frac{s}{t}$$

Ved å gange med  $t$  på begge sider av likhetstegnet får vi:

$$v * t = \frac{s}{t} * t$$

Vi kan stryke de to  $t$ 'ene (siden noe som deles på seg selv blir 1) og får da:

$$v * t = s$$

$$s = v * t$$

Eks. 11: Tenk deg en mann som står i ro. Kraften  $F$  som virker mot bakken kan uttrykkes ved massen  $m$  \* tyngdeakselerasjonen  $g$  (som er  $9,8 \frac{m}{s^2}$ ), altså  $F = m * g$ .

Oppgave: Regn ut hvor stor kraft som virker fra mannen mot bakken gitt at mannen veier 100 kg.

Løsning:  $F = m * g$

$$F = 100 \text{ kg} * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 980 \text{ N} \quad (\text{kg} * \frac{m}{s^2} \text{ er det samme som Newton, som forkortes N})$$

Eks. 12: Størrelsen på et dreiemoment  $M$  kan uttrykkes ved kraften  $F$  multiplisert med den korteste avstanden fra kraftens virkeretning til omdreiningssaksen (kalt arm  $r$ ),

altså:  $M = F * r$

Oppgave: Regn ut hvor lang  $r$  er hvis kraften er 200 N og dreiemomentet er 400 Nm.

Løsning:  $M = F * r$

$$\frac{M}{F} = \frac{F * r}{F}$$

$$\frac{M}{F} = r$$

$$r = \frac{M}{F}$$

$$r = \frac{400 \text{ Nm}}{200 \text{ N}}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

Eks. 13 Den potensielle energien ( $E_{\text{pot}}$ ) til et legeme kan uttrykkes ved  $E_{\text{pot}} = m * g * h$  der  $m$  er massen til legemet,  $g$  er tyngdeakselerasjonen og  $h$  er høyden til legemets tyngdepunkt.

Oppgave: Bruk formelen til å sette opp et uttrykk for høyden ( $h$ ) til legemets tyngdepunkt.

Løsning:  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

$$\frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g} = \frac{m \cdot g \cdot h}{m \cdot g}$$

$$\frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g} = h$$

$$h = \frac{E_{\text{pot}}}{m \cdot g}$$

Eks. 14 I emnets mekanikkdel skal vi i løpet av høsten bruke formelen  $m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  for å regne ut hastigheten til et legeme som faller fra en gitt høyde.

Oppgave: Bruk formelen til å sette opp et uttrykk for hastigheten (v).

Løsning:  $m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$$2 \cdot \frac{1}{m} \cdot m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{m}$$

$$2 \cdot g \cdot h = v^2$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Eks. 15 Formelen  $F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  (ved startfart 0) er en sentral formel i mekanikk. Formelen gjelder kun når massen (m) ikke har noen fart fra før av. I formelen symboliserer F kraft, s arbeidsveien som kraften virker over og v hastigheten til massen.

Oppgave: Bruk formelen til å sette opp et uttrykk for hastigheten (v).

Løsning:

$$F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$2 \cdot \frac{1}{m} \cdot F \cdot s = \frac{1 \cdot m \cdot v^2}{2} \cdot 2 \cdot \frac{1}{m}$$

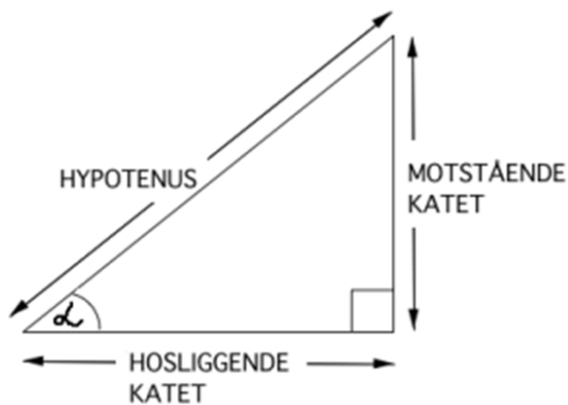
$$\frac{2 \cdot F \cdot s}{m} = v^2$$

$$v^2 = \frac{2 \cdot F \cdot s}{m}$$

$$\sqrt{v^2} = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot F \cdot s}{m}\right)}$$

$$v = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot F \cdot s}{m}\right)}$$

## Trigonometri



Rettvinklede trekanter er trekanter der en av vinklene er  $90^\circ$ . For slike trekanter gjelder Pythagoras setning: hypotenusen ( $h$ ) opphøyd i andre = motstående katet ( $k_m$ ) opphøyd i andre + hosliggende katet ( $k_h$ ) opphøyd i andre, altså  $h^2 = k_m^2 + k_h^2$ .

Eks. 16: Oppgave: Vi tenker oss at motstående katet er 4 cm og hosliggende katet er 5 cm. Hvor lang er da hypotenusen?

Løsning: Vi bruker Pythagoras setning og setter opp

$$h^2 = k_m^2 + k_h^2$$

$$h^2 = (4 \text{ cm})^2 + (5 \text{ cm})^2$$

$$h^2 = 16 \text{ cm}^2 + 25 \text{ cm}^2$$

$$h^2 = 41 \text{ cm}^2$$

$$\sqrt{h^2} = \sqrt{41 \text{ cm}^2}$$

$$h = \pm 6,4 \text{ cm}$$

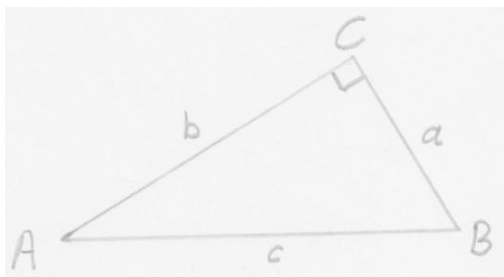
Hypotenusen er 6,4 cm.

Forholdet mellom lengdene på sidene i en rettviklet trekant kan defineres ved hjelp av sinus, cosinus og tangens. For trekanten under er

$$\sin A = \frac{a}{c}$$

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

$$\tan A = \frac{a}{b}$$



Eks. 17: Oppgave: Gitt at lengden c i den rettvinklede trekanten er 7 cm og at vinkelen A er  $30^\circ$ . Hvor lang er da b?

Løsning: Vi må benytte en formel der b inngår og de øvrige leddene som inngår er kjente størrelser og bruker derfor formelen  $\cos A = \frac{b}{c}$

$$\cos A = \frac{b}{c}$$

$$c * \cos A = \frac{b}{c} * c$$

$$b = c * \cos A$$

$$b = 7 \text{ cm} * \cos 30^\circ$$

$$b = 7 \text{ cm} * 0,866$$

$$b = 6,1 \text{ cm}$$

### Dreiemoment

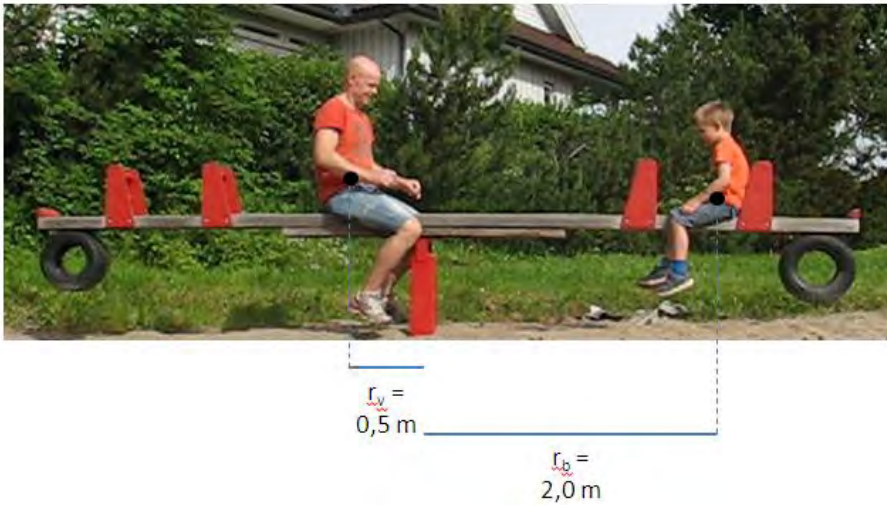
I tabellen nedenfor er det satt opp begrep, symbol og måleenheter man må ha kontroll over ved løsning av oppgaver om dreiemoment.

Begrep (med symbol)	Måleenhet
Masse (m)	kg (kilo)
Akselerasjon (a)	$\text{m/s}^2$ (meter pr sekund opphøyd i andre)
Tyngdeakselerasjonen (g)	$\text{m/s}^2$ (meter pr sekund opphøyd i andre)
Kraft (F)	N (Newton), som er lik $\text{kg} * \text{m/s}^2$
Tyngdekraften (G, som er lik $m * g$ )	N (Newton)
Momentarm (r, som er kraftretningens korteste avstand til omdreiningspunktet)	m (meter)
Dreiemoment ( $F * r$ )	Nm (Newton * meter)

Eks. 18: Oppgave: Det klassiske eksempelet for å illustrere dreiemoment er to personer som sitter på en vippe på hver sin side av omdreiningspunktet, slik som illustrert i figuren nedenfor. For å gjøre eksempelet enklest mulig tenker vi oss at vippa i seg selv er vektløs og for å kunne regne med enkle tall setter vi at tyngdeakselerasjonen ( $g$ ) =  $10 \text{ m/s}^2$ .

Personene i figuren nedenfor har plassert seg slik at vippa er i likevekt. Hvor stor er massen til den voksne ( $m_v$ ) gitt at den korteste avstanden fra vippas omdreiningspunkt til tyngdepunktlinjen hans ( $r_v$ ) er 0,5 meter, massen til barnet ( $m_b$ ) er 20 kg og den

korteste avstanden fra vippas omdreiningspunkt til tyngdepunktlinjen til barnet ( $r_b$ ) er 2,0 meter.



Løsning: Siden det er likevekt må dreiemomentet på hver side av omdreiningspunktet være like stort.

For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$m_v * g * r_v = m_b * g * r_b$$

$$m_v * g * r_v * \frac{1}{g * r_v} = m_b * g * r_b * \frac{1}{g * r_v}$$

$$m_v = \frac{m_b * r_b}{r_v}$$

$$m_v = \frac{20 \text{ kg} * 2,0 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}$$

$$m_v = 80 \text{ kg}$$

Eks. 19: Oppgave: I figuren nedenfor virker det to krefter på vippa på samme side av omdreiningsaksen. I retningen oppover virker det en kraft ved at mannen trekker i tauet ( $F_t$ ) mens det i retning nedover virker en kraft på vippa forårsaket av massen til vektskivene ( $m_v$ ) \* tyngdeakselerasjonen ( $g$ ). For å gjøre eksempelet enklest mulig tenker vi oss at vippa i seg selv er vektløs og for å kunne regne med enkle tall setter vi at tyngdeakselerasjonen ( $g$ ) = 10 m/s<sup>2</sup>.

Vippa i figuren er i likevekt. Hvor stor kraft virker oppover ( $F_t$ ) gitt at armen kraften virker på ( $r_t$ ) er 0,5 meter, vektskivenes masse ( $m_v$ ) er 20 kg og at armen vektskivene virker på ( $r_v$ ) er 1,0 meter?



$$r_t = 0,5 \text{ m}$$

$$r_v = 1,0 \text{ m}$$

Løsning: Siden det er likevekt må dreiemomentet på hver side av omdreiningspunktet være like stort.

For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$F_t * r_t = m_v * g * r_v$$

$$\frac{F_t * r_t}{r_t} = \frac{m_v * g * r_v}{r_t}$$

$$F_t = \frac{m_v * g * r_v}{r_t}$$

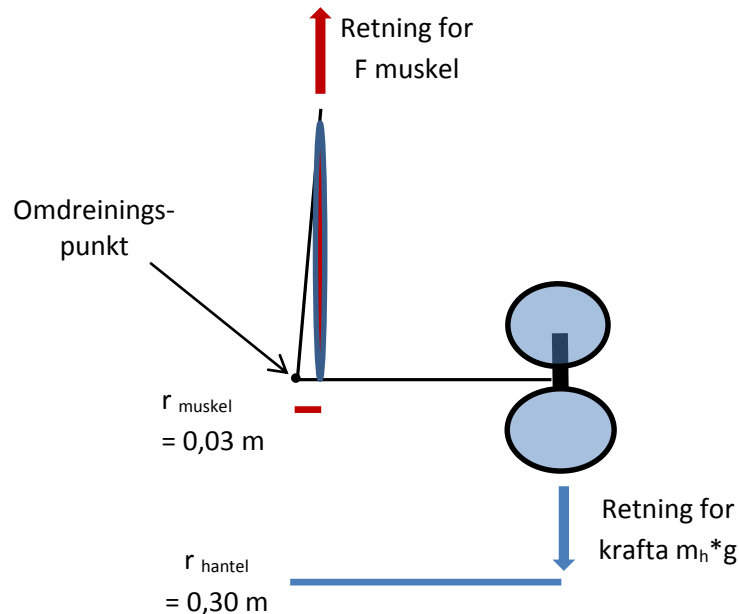
$$F_t = \frac{20 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1,0 \text{ m}}{0,5 \text{ m}}$$

$$F_v = 400 \text{ N}$$

## Dreiemoment når muskler utvikler isometrisk kraft

I de fleste ledd i kroppen er det flere muskler som kan gjøre samme bevegelse i leddet. For å lage enklest mulig eksempler tenker vi oss imidlertid i eksemplene nedenfor at all kraft som utvikles er av samme muskel, slik at muskelens festepunkt på knokkelen er klart definert.

Eks. 20: Oppgave: I eksempelet tenker vi oss at underarmen er vektløs og for å kunne regne med enkle tall setter vi at tyngdeakselerasjonen ( $g$ ) =  $10 \text{ m/s}^2$ . Hvor stor kraft ( $F_m$ ) må muskelen utvikle for at underarmen skal holdes i ro gitt at hantelens masse ( $m_h$ ) er 20 kg og momentarmene ( $r$ ) er som vist i figuren?



Løsning: Siden armen holdes i ro er dreiemomentet som virker oppover like stort som det som virker nedover. For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$F_m * r_m = m_h * g * r_h$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

$$F_m = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

$$F_m = \frac{20 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,3 \text{ m}}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = \frac{60 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \text{m}}{0,03 \text{ m}}$$

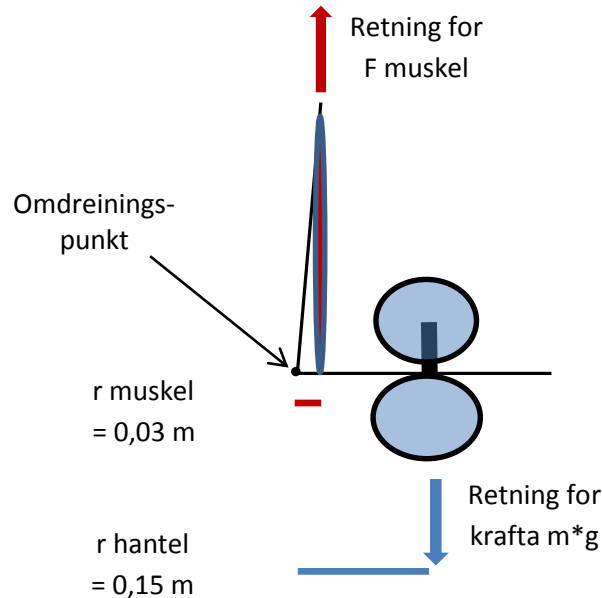
$$F_m = \frac{60 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,03}$$

$$F_m = 2000 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_m = 2000 \text{ N}$$

Eks. 21:

I dette eksempelet er alle betingelsene like som i forrige eksempel unntatt lengden for  $r_{\text{hantel}}$ , som nå er 0,15 meter. Oppgave: Hvor stor kraft må muskelen nå utvikle for at underarmen skal holdes i ro?



Løsning: Siden armen holdes i ro er dreiemomentet som virker oppover like stort som det som virker nedover.

For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$F_m * r_m = m_h * g * r_h$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

$$F_m = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

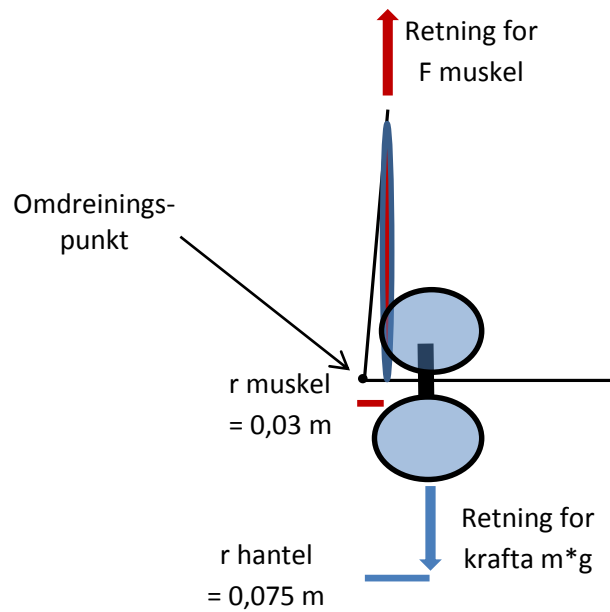
$$F_m = \frac{20 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,15 \text{ m}}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = 1000 \text{ N}$$

Eks. 22:

I dette eksempelet er alle betingelsene like som i de to forrige eksemplene unntatt lengden for  $r_{\text{hantel}}$ , som nå er 0,075 meter. Oppgave: Hvor stor kraft må muskelen nå utvikle for at underarmen skal holdes i ro?





Løsning: Siden armen holdes i ro er dreiemomentet som virker oppover like stort som det som virker nedover.

For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$F_m * r_m = m_h * g * r_h$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

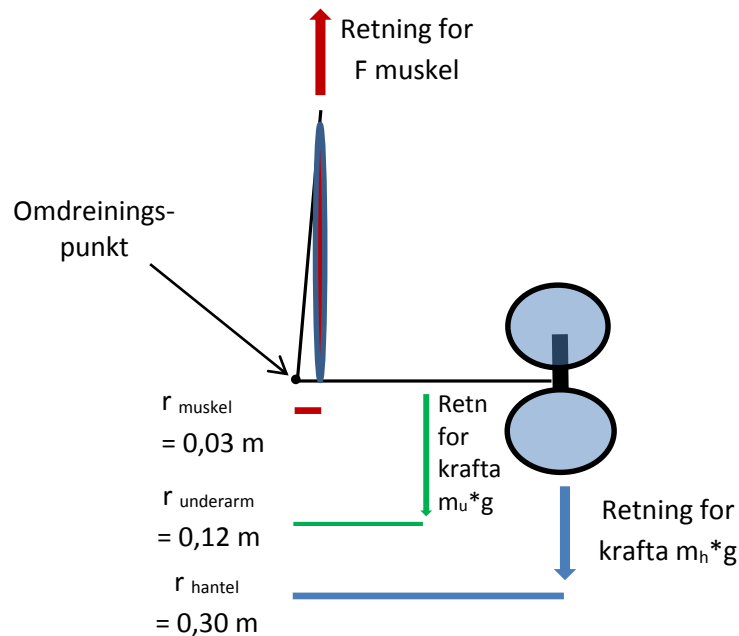
$$F_m = \frac{m_h * g * r_h}{r_m}$$

$$F_m = \frac{20 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,075 \text{ m}}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = 500 \text{ N}$$

Eks 23

I virkeligheten underarmen i eksemplene 20 til 22 ikke vektløs. Vi tar nå for oss situasjonen i eksempel 20 på nytt, men tar nå også i betraktning underarmens masse. Oppgave: Hvor stor kraft ( $F_m$ ) må muskelen utvikle for at underarmen skal holdes i ro gitt at hantelens masse ( $m_h$ ) er 20 kg, underarmens masse er 1 kg og momentarmene ( $r$ ) er som vist i figuren?



Løsning: Siden armen holdes i ro er dreiemomentet som virker oppover like stort som det som virker nedover.

For å regne ut svaret setter vi opp denne likninga:

$$F_m * r_m = m_h * g * r_h + m_u * g * r_u$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{(m_h * g * r_h + m_u * g * r_u)}{r_m}$$

$$F_m = \frac{(20 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,3 \text{ m} + 1 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,12 \text{ m})}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = \frac{(60 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \text{m} + 1,2 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \text{m})}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = \frac{61,2 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \text{m}}{0,03 \text{ m}}$$

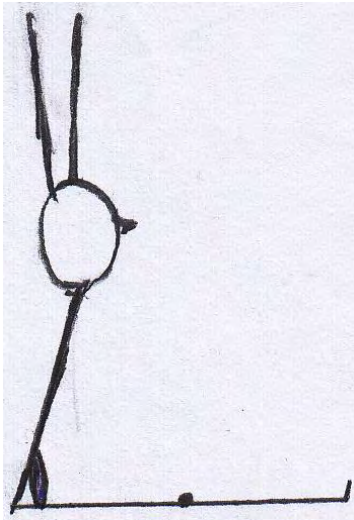
$$F_m = \frac{61,2 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,03 \text{ m}}$$

$$F_m = 2040 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_m = 2040 \text{ N}$$

Eks 24

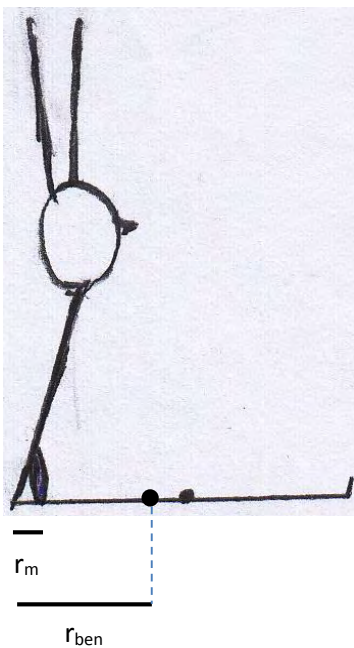
I figurene nedenfor vises utførelse av den isometriske styrkeøvelsen «Armhengende benhev» for en person som henger i en stang.



Oppgave: Hvor stor kraft må muskelen utvikle for å holde benet i posisjonen gitt følgende:

- Massen til benet (massen til høyre for omdreiningpunktet) er 10 kg
- Avstanden fra omdreiningpunktet til benets tyngdepunktslinje er 0,35 meter.
- Muskelen festepunkt på skjelettet er 0,07 meter til høyre omdreiningpunktet og den er den eneste muskel med feste på lårbenet som utvikler kraft i øvelsen

Løsning:



I figuren ovenfor har jeg markert de to momentarmene (r) som inngår i utregningen. Dreiemomentet som virker oppover er gitt ved muskelkrafta \* armen den har å virke på:  $F_m * r_m$ . Dreiemomentet som virker nedover er gitt ved massen til benet \* tyngdeakselerasjonen:  $m_{ben} * g * r_{ben}$ .

Dette gir oss følgende oppsett:

$$F_m * r_m = m_{ben} * g * r_{ben}$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{m_{ben} * g * r_{ben}}{r_m}$$

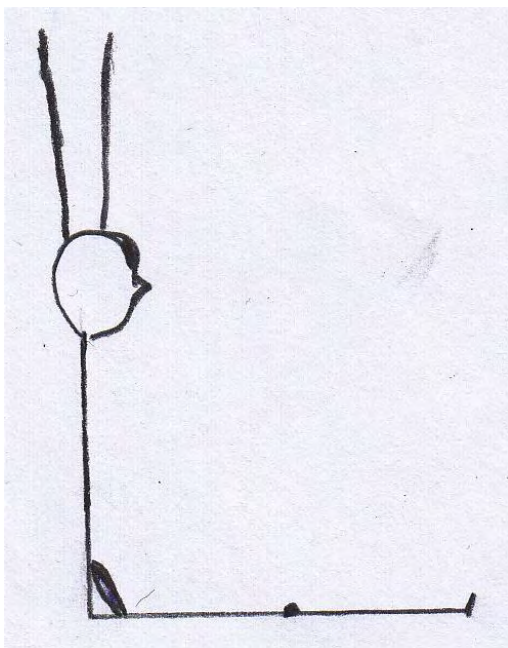
$$F_m = \frac{m_{ben} * g * r_{ben}}{r_m}$$

$$F_m = \frac{10 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,35 \text{ m}}{0,07 \text{ m}}$$

$$F_m = \frac{35 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,07 \text{ m}}$$

$$F_m = 500 \text{ N}$$

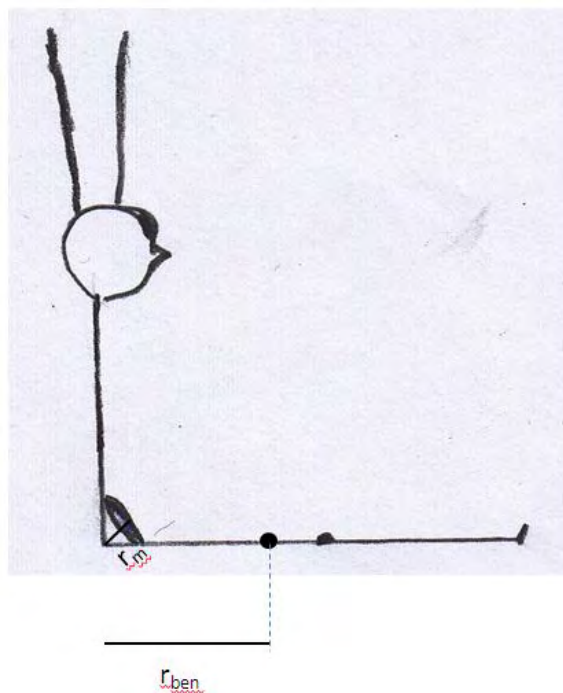
Eks 25 I figurene nedenfor vises utførelse av den isometriske styrkeøvelsen «Armhengende benhev» for en person som henger i en ribbevegg.



Oppgave: Hvor stor kraft må muskelen utvikle for å holde benet i posisjonen gitt følgende:

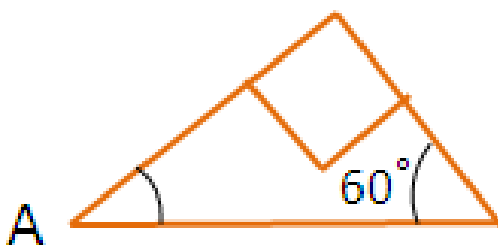
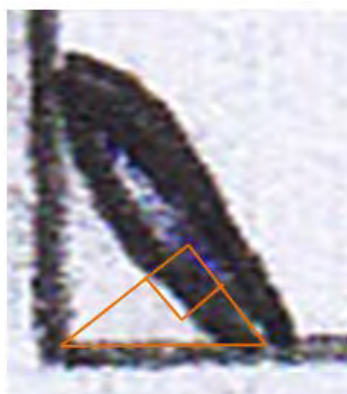
- Massen til benet (massen til høyre for omdreiningpunktet) er 10 kg
- Avstanden fra omdreiningpunktet til benets tyngdepunktslinje er 0,35 meter.
- Muskelen festepunkt på skjelettet er 0,07 meter til høyre for omdreiningpunktet og den er den eneste muskel med feste på lårbenet som utvikler kraft i øvelsen
- Muskelen retning (utspring til feste) er noe mer vertikal enn horisontal slik at det er en vinkel på 60° grader mellom lårbenet og muskelretninga.

Løsning:



I figuren ovenfor har jeg markert de to momentarmene ( $r$ ) som inngår i utregningen. Dreiemomentet som virker nedover er gitt ved massen til benet \* tyngdeakselerasjonen:  $m_{ben} * g * r_{ben}$ . Dreiemomentet som virker oppover er gitt ved muskelfrafta \* armen den har å virke på:  $F_m * r_m$ . Vi har ikke opplysninger om hvor lang  $r_m$  er og starter derfor med å bestemme denne.

Nedenfor har jeg forstørret opp hofteområdet i figuren og satt inn noen hjelpelinjer og symboler for å tydeliggjøre hvordan muskelens kraftretning og momentarm inngår i en rettvinklet trekant.



Summen av vinklene i en rettvinklet trekant er alltid  $180^\circ$ . Siden de øvrige vinklene i trekanten er henholdsvis  $90^\circ$  og  $60^\circ$  er vinkel  $A$   $30^\circ$ . Muskelens momentarm, som vi ønsker å finne, er vinkel  $A$  sin hosliggende katet ( $k_h$ ). Andelen muskelens momentarm utgjør av hypotenusen ( $h$ ) finner vi ved å regne ut  $\cos A$  (kalkulator). For å finne hvor lang momentarmen er i meter må vi i tillegg multiplisere med hypotenusen ( $h$ ), altså:

$$k_h = \cos A * h$$

$$k_h = \cos 30^\circ * 0,07 \text{ m}$$

$$k_h = 0,866 * 0,07 \text{ m}$$

$$k_h = 0,0606 \text{ m}$$

Nå er vi klar til å regne ut muskelkrafta og setter opp følgende:

$$F_m * r_m = m_{\text{ben}} * g * r_{\text{ben}}$$

$$\frac{F_m * r_m}{r_m} = \frac{m_{\text{ben}} * g * r_{\text{ben}}}{r_m}$$

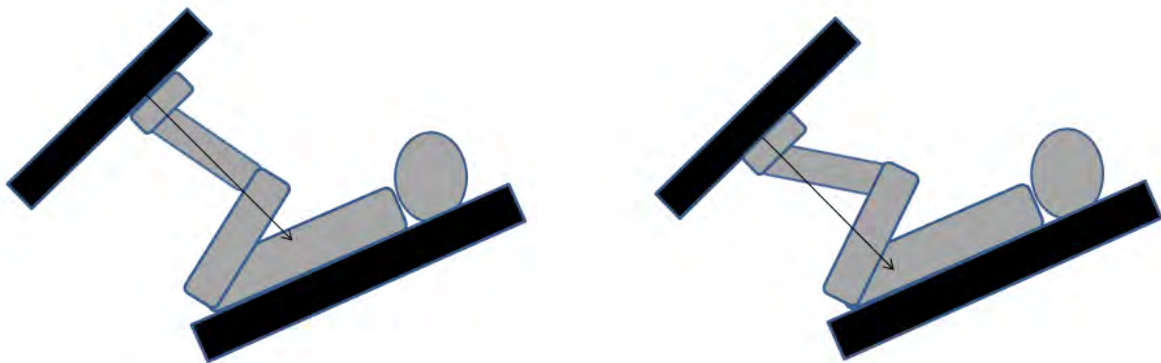
$$F_m = \frac{m_{\text{ben}} * g * r_{\text{ben}}}{r_m}$$

$$F_m = \frac{10 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,35 \text{ m}}{0,07 \text{ m}}$$

$$F_m = \frac{35 \text{ kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,0606 \text{ m}}$$

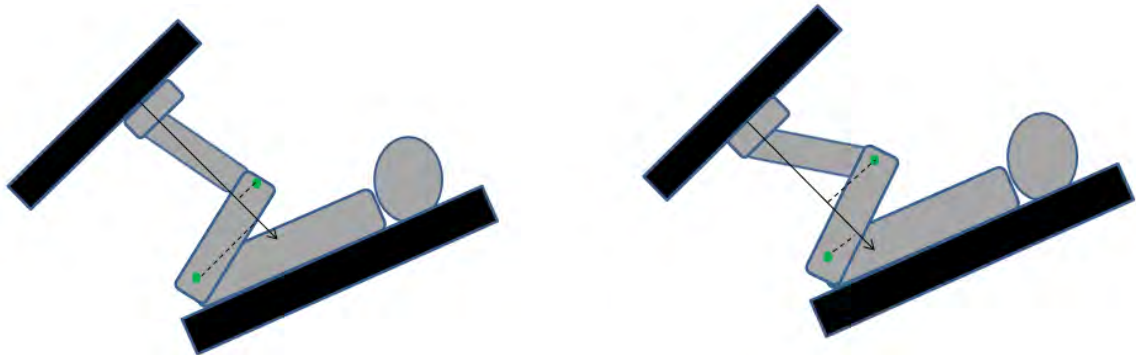
$$F_m = 577,6 \text{ N}$$

Eks 26 Styrketreningsovelsen liggende benpress kan gjøres med ulike kroppsposisjoner, som vist i figurene nedenfor. Drøft hvilken av de to øvelsesvariantene som er tyngst for hoftestrekker- musklene gitt at retninga for krafta fra plata på mannen er som vist i figurene og antall kg det løftes med er likt i de to tilfellene.



Løsning:

Flere aspekter kan trekkes inn, men fokuset må være på kraftretning og momentarm lengder ( $r$ ). Nedenfor har jeg markert både omdreiningspunkter, retninga for den ytre krafta, samt ytre momentarmer for både kne- og hoftelodd. For ikke å gjøre framstillingen for komplisert har jeg latt være å markere indre momentarmer (momentarm for muskelkraft). Siden hoftevinkelen (vinkelen mellom lår og overkropp) er nær identisk i de to figurene, er også hoftestrekker- musklens momentarmer nær identiske. Derfor: I figuren der det ytre dreiemomentet for hofta er størst, må også det indre dreiemomentet være størst, altså er krafta hoftestrekkerne må utvikle størst i figuren til venstre.



### Grunnleggende sannsynlighetsregning

Viktig å være klar over ved sannsynlighetsregning:

- For å uttrykke sannsynlighet (probability) brukes ofte forkortelsen  $p$ .
- En  $p$ - verdi er en matematisk beregning av hvor stor sjansen er for at noe (f.eks en serie hendelser eller en forskjell mellom to grupper) har oppstått tilfeldig.
- $p$ - verdier som oppgis med eksakte tall skrives « $p = \dots$ ». En  $p$ -verdi på f.eks. 0,50 betyr at det er 50 % sannsynlighet for at resultat har oppstått tilfeldig, mens en  $p$ - verdi på 0,01 betyr at det er 1 % sannsynlighet for at resultatet har oppstått tilfeldig.
- Når man ønsker å uttrykke at sannsynligheten er lavere enn en bestemt verdi uttrykkes svaret med « $p < \dots$ »

- Når man ønsker å uttrykke at sannsynligheten er høyere enn en bestemt verdi uttrykkes svaret med «p > ...»
- I forskning oppgir man ofte om p- verdier er signifikante. I forskningsartikler brukes oftest signifikansnivåene «p < 0,05», «p < 0,01» og «p < 0,001». De tre uttrykkene betyr at det er henholdsvis mindre enn 5 % sjanse, mindre enn 1 % sjanse og mindre enn 0,1 % sjanse for at forskjellen man har funnet har framkommet ved tilfeldigheter.

Eks 27: Hvor stor er sjansen for å få en 6- er når man kaster en terning?

$$\text{Svar: } p = \frac{1}{6} \approx 0,17$$

Eks 28: Hvor stor er sjansen for å få to 6- ere når man kaster med to terninger?

$$\text{Svar: } p = \frac{1}{6} * \frac{1}{6} = \frac{1}{36} \approx 0,03$$

Eks 29: Hvor stor er sjansen for ikke å få noen 6- ere når man kaster med to terninger?

$$\text{Svar: } p = \frac{5}{6} * \frac{5}{6} = \frac{25}{36} \approx 0,69$$

Eks 30: Hvor stor er sjansen for ikke å få verken 3- ere, 4- ere, 5- ere eller 6- ere når man kaster med fem terninger?

$$\text{Svar: } p = \frac{1}{3} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3} = \frac{1}{243} \approx 0,004$$

Eks 31: Uttrykk svaret i eksempel 28 utfra hvilket signifikansnivå det er innenfor (ved «p < ...»).

$$\text{Svar: } p < 0,05$$

Eks 32: Uttrykk svaret i eksempel 30 utfra hvilket signifikansnivå det er innenfor (ved «p < ...»).

$$\text{Svar: } p < 0,01$$

### Sannsynlighetsregning brukt i forskningsartikler

I forskningssammenheng er det viktig å også være klar over dette:

- I idrettsfysiologiske forskningsprosjekter er det oftest 6-7 forsøkspersoner eller flere som sammenliknes med en kontrollgruppe. Ved noen forskningsdesign fungerer imidlertid hver forsøksperson som sin egen kontroll. I slike tilfeller testes forsøkspersonene når en bestemt påvirkning er til stede samt når denne påvirkningen ikke er til stede.
- Forskjellene mellom to grupper må være meget tydelige for at forskjellene skal være signifikante ved et lite antall forsøkspersoner.



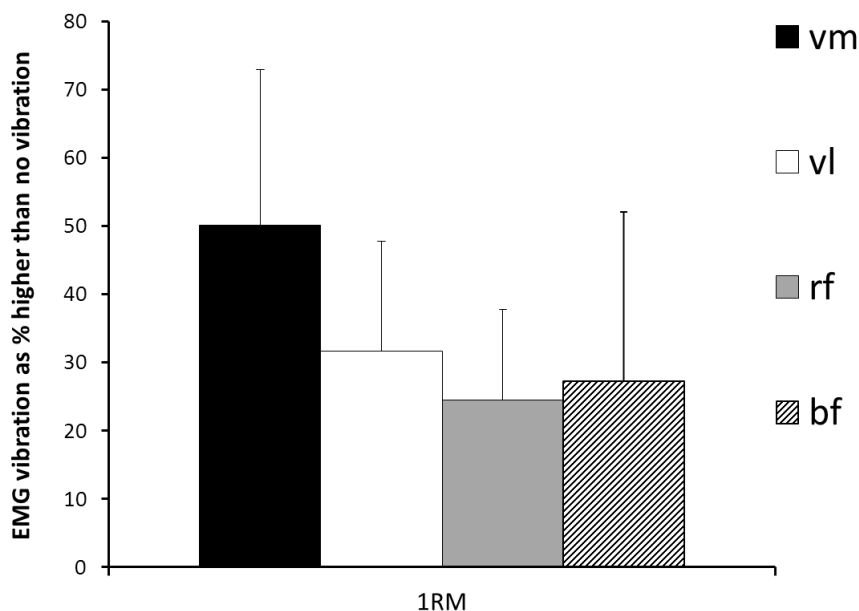
- Standardavvik (SD) er et mål på hvor mye spredning det er i et datamateriale. Innenfor ett standardavvik kan man forvente å finne ca 66 % av de registrerte målingene og innenfor to standardavvik kan man forvente å finne ca 95 % av de registrerte målingene.
- p- verdier som oppgis i forskningsartikler er vanligvis regnet ut ved bruk av et dataprogram.

Eks. 33:

I et pågående forskningsprosjekt her ved HiL undersøker vi virkningen akutt vibrasjon har på 1RM- prestasjon i øvelsen kneekstensjon. Det foreligger pr i dag et artikkelutkast der første del av det engelske sammendraget (abstracted) lyder:

“The purpose of the study was to investigate the acute effects of vibration with a frequency of 31 Hz on one repetition maximum (1RM) and electromyography (EMG) activity during seated knee extension exercise. Subjects were randomly exposed to vibration and no vibration. EMG root mean square was recorded for vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), rectus femoris (RF) and biceps femoris (BF) during a standardized session with lifts at low weights and at 1RM loads. Seventeen healthy untrained women (age  $21 \pm 2$  yrs, height  $169 \pm 7$  cm, body mass  $62 \pm 9$  kg) completed two trials with vibration and two trials with no vibration conditions. Mean and SD values for each conditioning are presented. Vibration tended to increase 1RM performance ( $2.8 \pm 5.8\%$   $p=0.063$ ) and increased the corresponding EMG<sub>peak</sub> values ( $50 \pm 32\%$ ,  $32 \pm 27\%$ ,  $24 \pm 23\%$ ,  $27 \pm 22\%$ , for the VM, VL, RF and BF, respectively, all  $p < 0.001$ ).”

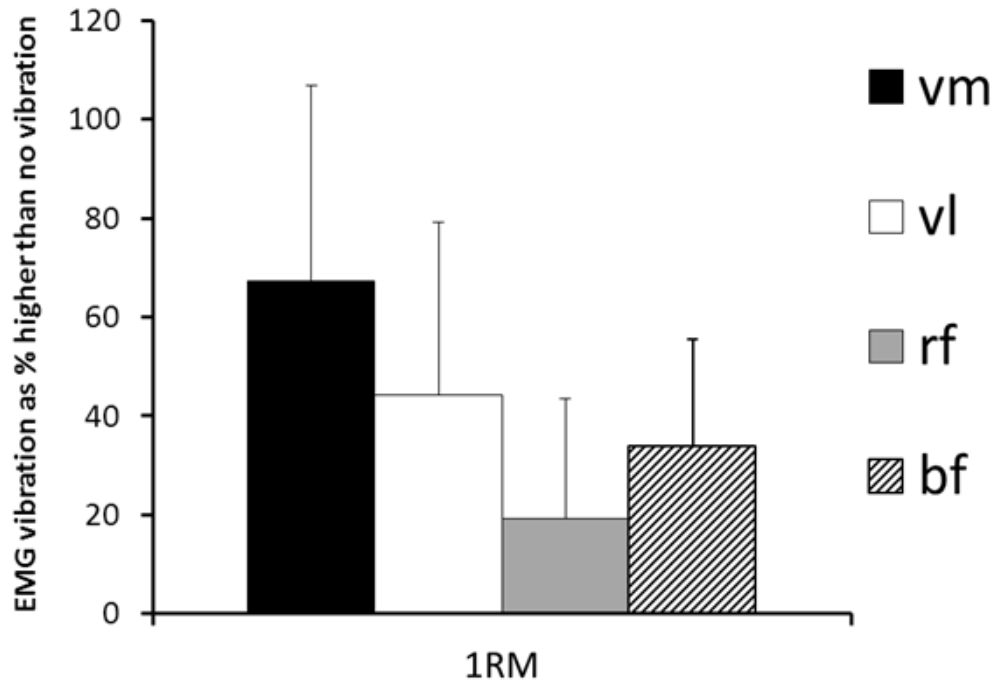
EMG- dataene som nevnes sist i abstracted er planlagt presentert gjennom figuren nedenfor.



Figuren over viser hvor mye høyere muskelaktiviteten målt ved overflate- EMG var ved vibrasjon i forhold til ved ikke- vibrasjon. Søylehøyden viser gjennomsnittet for de 17 forsøkspersonene for hver av de fire målte musklene mens streken opp fra hver søyle symboliserer spredningen i datamaterialet, oppgitt som standardavvik.

Formuleringen «all  $p < 0.001$ » helt til sist i sammendrags- sitatet er brukt for å klare å skrive kortfattet og for å unngå unødig detaljfokusering. De eksakt utregnede p- verdiene for forskjell i registrert muskelaktivitet mellom ikke- vibrasjon og vibrasjon for musklene vm, vl, rf og bf ble av dataprogrammet regnet ut å være henholdsvis 0,000083, 0,00021, 0,00055 og 0,000096.

For å tydeliggjøre hva antall forsøkspersoner kan bety for funnene har jeg i figuren nedenfor presentert data for kun de 6 forsøkspersonene som ble testet først.



I figuren over inngår det data fra kun 6 forsøkspersonene som ble testet først i studien. For annen informasjon: se figurteksten i forrige figur.

Vi ser at det er målt en omtrent like mye forhøyet muskelaktivitet ved vibrasjon uansett om vi bruker data fra alle de 17 målte eller kun fra 6 først målte. Da vi tok for oss de 17 forsøkspersonene fant vi for alle muskler svært tydelige p- verdier. Når vi tar for oss de 6 finner vi at alle p- verdiene er langt mindre tydelige: 0,0090, 0,027, 0,11 og 0,011 for musklene vm, vl, rf og bf. Dette skyldes at p- verdiene er sterkt avhengig av antallet forsøkspersoner. At p- verdier er avhengige av forsøksperson- antallet, kan være lettere å forstå utfra dette eksempelet: Gode straffeskytterferdigheter er sterkere «bevist» hos en fotballspiller som tar 18 straffer og scorer på 15 av dem enn hos en spiller som tar 6 straffer og scorer på 5 av dem, selv om scoringsprosenten er den samme. Årsaken er at de tilfeldige variasjonene spiller mye mindre inn når datagrunnlaget (forsøkspersonantall eller straffeantall) er høyt. Ved lite datagrunnlag må resultatene være svært tydelige for at p- verdiene skal bli tydelige siden p- verdier jo nettopp forteller hvor stor sjanse det er for at en gitt forskjell har oppstått tilfeldig.

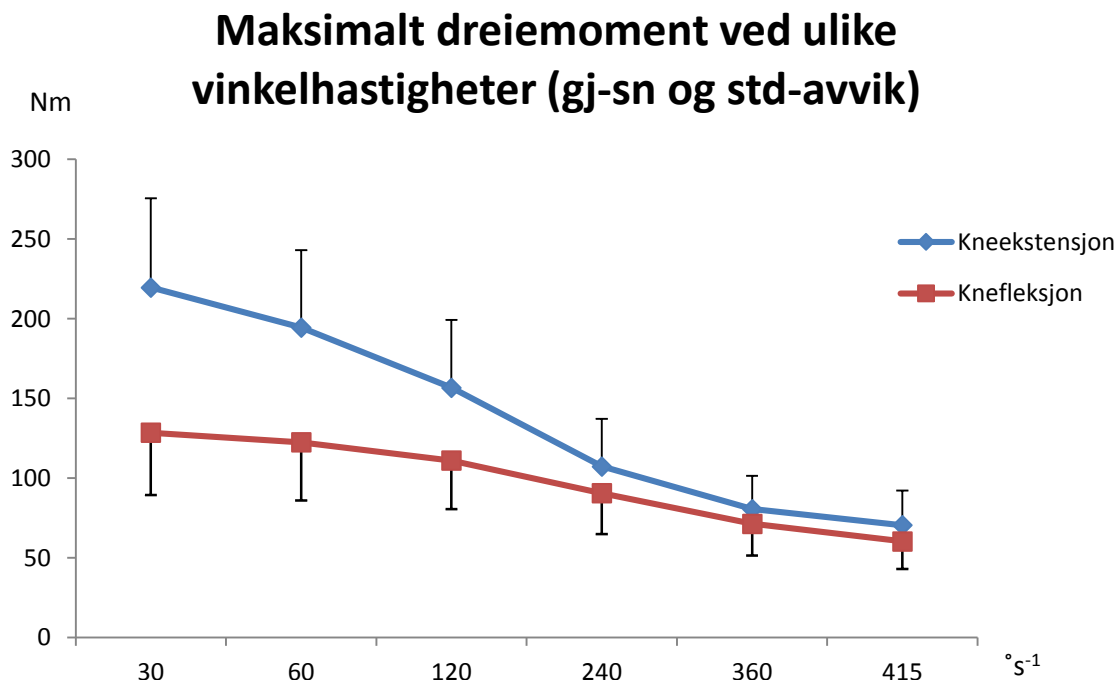
Ved vurdering av funn i studier må man altså se både på p- verdier og på hvor sterk %- vis påvirkning det er av et tiltak. Gode, kritiske vurderinger av studier må i tillegg ta for seg mange andre forhold, bl.a. hvor høy kvalitet det er på metodene som er brukt. Du vil få muligheten til å lære mer om statistikk og metode i emnet «Metode» på 2. år på bachelor idrett.

## Bearbeidede idrettsfysiologiske studentdata for bruk i undervisningen

Gjennom de siste årene har studentene på 1. år idrett gjennomført mange datainnsamlinger av fysiologiske data under veiledning av undertegnede. En del av dataene har blitt samlet inn i forbindelse med arbeidskrav, mens andre data har blitt samlet inn uten å ha noen slik tilknytning. For noen av datainnsamlingene har jeg bedt studentene gi meg en anonymisert kopi av dataene sine. Ved disse tilfellene har jeg bearbeidet og systematisert dataene og anvendt dem i undervisningen og i eksamensoppgaver. Nedenfor presenterer jeg fire sett data jeg har bearbeidet og utviklet til læringsressurser der formålet har vært å gjøre undervisningen mest mulig forskningsnær og å gi studentene trening i å tolke resultater og vurdere statistiske sammenhenger.

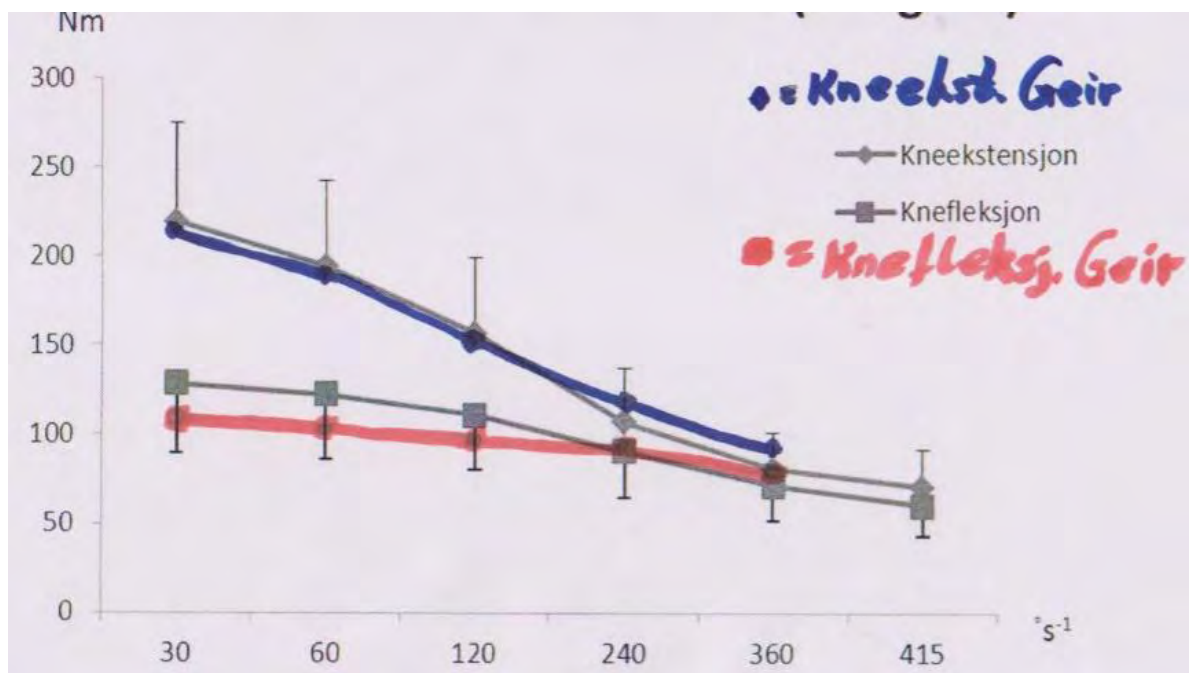
### Datsett 1

Eksempelet nedenfor viser data som er hentet inn i undervisningsblokk 4 i emnet Anatomi og bevegelseslære. Der samlet studentene samlet inn data til bruk i et arbeidskrav i undertegnedes undervisningstimer. Dataene under er innsamlet ved bruk av styrketreningsapparatet Cybex 6000 dynamometer (Lumex,100 Ronkonkoma, N.Y., USA) som måler personenes maksimale isokinetisk kraftutvikling ved ulike standardiserte vinkelhastigheter i styrkeøvelsene kneekstensjon og knefleksjon. Dataene som ble samlet inn var fra 5 kvinnelige og 11 mannlige studenter som alle meldte seg frivillig til å la seg teste i øvelsen.



*Figur 1.* Figuren over viser det maksimale dreiemomentet som ble utviklet for de 16 1BAidrettstudentene som ble testet dette studieåret. Verdiene i figuren er oppgitt som gjennomsnitt og

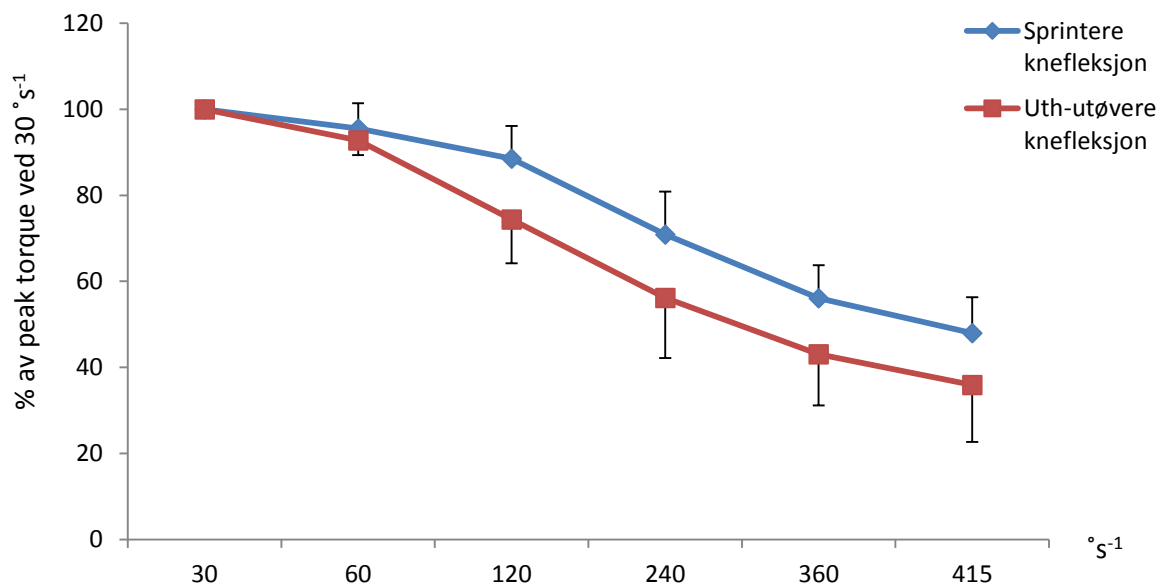
standardavvik. Resultatene viser det samme budskapet som Hill- kurven: kraftutviklingen faller ved økende forkortningshastighet (variabelen som måles er dreiemomentet (torque), men ettersom den ytre momentarmen er identisk ved alle vinkelhastighetene, er det kraften som må være endret). Ved at jeg i figuren markerte standardavviket fikk studentene trening i å forholde seg til et spredningsmål de hadde nytte av å kjenne til ved lesning og tolkning av forskningsartikler de hadde som pensum. For studieåret h14/v15 var studentene fra før av blitt introdusert for spredningsmålet standardavvik i kompendiet «Matematikk og grunnleggende biomekanikk», i kapittelet «Sannsynlighetsregning brukt i forskningsartikler».



Figur 2. Ved å tegne inn verdiene for en gitt testperson (Geir), slik som vist i den nederste figuren, ble studentene vist hvordan standardavviket kunne brukes for å vurdere hvorvidt den spesifikke testpersonen var typisk eller utypisk i forhold til de øvrige testede. Vurderingen tok utgangspunkt i at man kan forvente å finne ca 66 % av måleverdiene innen ett standardavvik og ca 95 % av måleverdiene innen to standardavvik.

## Peak Torque knefleksjon ved ulike vinkelhastigheter i % av peak torque ved 30° (gj-sn og std), n=16

"Sprintere" er studenter som oppga 100-400 meter som sin beste løpsdistanse, mens  
"utholdenhetsutøvere" er de som oppga å være best på lengre løp



Figur 3. Figuren over viser verdiene for den samme studentgruppa som i figur 1. I figur 3 vises imidlertid kun det maksimale dreiemomentet som ble utviklet i fleksjonsretning i kneet. Verdiene i figuren er oppgitt som gjennomsnitt og standardavvik. Alle de testede ble bedt om å oppgi om de anså seg selv som best på korte løp (100- 400 meter) eller lengre løp (800 meter eller lengre) sammenliknet med gjennomsnittspersoner av samme kjønn og alder.

Figuren viser et tydeligere kraftfall ved økende vinkelhastighet for studenter som oppga mellom- eller langdistanse som sin antatt beste løpsdistanse sammenliknet med dem som oppga en kortere distanse.

## Datsett 2



Datsett 2 er relatert til undervisningsblokk 4, 1 og 5 i emnet Anatomi og bevegelseslære. Eksempelen omhandler kraftutvikling i øvelsen kneekstensjon som er avbildet ovenfor. Dataene som ble samlet inn var fra 6 kvinnelige og 10 mannlige studenter som alle meldte seg frivillig til å la seg teste i øvelsen. Ved datainnsamlingen var det montert en sensor som målte den maksimale hastigheten for apparatets ankelpad i vertikalretningen når forsøkspersonene utførte øvelsen mest mulig eksplosivt (bruk av systemet «Muscle lab»). Tabellen nedenfor viser bearbejdede data for de studentene det ble gjort målinger av i et av de siste studieårene. Dataene ble anvendt i en eksamensoppgave jeg laget for et av studentkullene innen temaområdet treningslære og bevegelseslære for noen år siden. Eksamensoppgaven lød:

«På 16 personer ble det gjennomført testing av evne til eksplosiv bevegelse i øvelsen kneekstensjon (øvelsen ovenfor). Den ytre belastningen var ca 40 % av 1RM. Forsøkspersonene ble instruert til å ta i med maksimal bevegelsehastighet inntil ankelen hadde passert et spesifikt målepunkt. Ankelen hastighet i vertikal retning ved dette punktet ble brukt som mål på prestasjonen. Hver forsøksperson gjennomførte disse fire variantene av øvelsen:

- Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse
- Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse
- Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse
- Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse

Ved "lang arbeidsvei" var arbeidsveien dobbelt så lang som ved "kort arbeidsvei".

Tabellen nedenfor viser gjennomsnittshastigheten ankelen hadde ved målepunktet for hver av de fire øvelsesvariantene.

	Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse	Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse	Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse	Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse
Gjennomsnittlig hastighet	1.09 m/s	1.30 m/s	1.32 m/s	1.44 m/s

Drøft hvorvidt resultatene i tabellen er som forventet. Ta for deg både fysiologiske og mekaniske forhold. Det er ønskelig at du anvender formler fra mekanikk som del av forklaringen din, men du trenger ikke foreta beregninger med bruk av tall.

I diskusjonen bes du se bort fra eventuelle målefeil knyttet til innsamlingen av dataene.»

For studiekullet dataene ble samlet inn fra regnet jeg dessuten ut sannsynligheten for at funnene om forskjellig resultat for de ulike teknikkene var framkommet tilfeldig. De statistiske beregningene ble også anvendt i undervisningen i Anatomi & bevegelseslære studieåret h14/v15. Den statistiske sikkerheten i funnene er oppgitt i tabellen nedenfor.

## Tabell med p-verdier

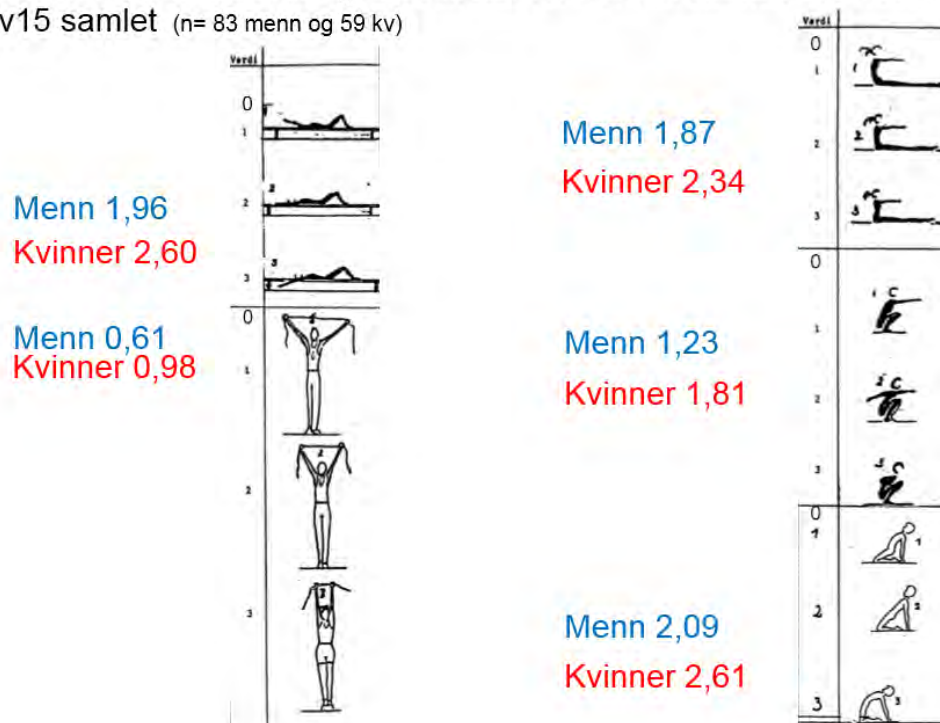
(n=16)	Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse	Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse	Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse	Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse
Gj-sn	<b>1.09 m/s</b>	<b>1.30 m/s</b>	<b>1.32 m/s</b>	<b>1.44 m/s</b>
SD	0.12	0.17	0.10	0.16
Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse	1.00	0.0000010	0.000000093	0.0000000052
Kort arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse		1.00	0.39	0.000035
Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, uten forutgående motbevegelse			1.00	0.00011
Lang arbeidsvei i konsentrisk fase, med forutgående motbevegelse				1.00

### Datsett 3

I den praktiske undervisningen om bevegelighet for 1BA idrett valgte jeg både for studieåret h13/v14 og h14/v15 å la studentene gjennomføre fem tester av sitt maksimale leddutslag. For begge årene oppfordret jeg alle studenter som gjennomførte alle tester og ikke hadde skader som påvirket resultatene om å levere resultatene inn til meg. For begge år leverte alle studentene som oppfylte kriteriene inn resultatene sine. Resultatene ble levert inn anonymt, men sammen med resultatopplysningene opplyste hver student om kjønn og hvilken av følgende idrettskategorier de mente at de passet best inn i: a) Langrenn og skiskyting, b) Fotball, c) Øvrige idretter. For de to studieårene samlet var antall forsøkspersoner med fulle datasett 142, fordelt på 83 menn og 59 kvinner. For studieåret h14/v15 anvendte jeg bearbeide framstillinger av studentenes data som en vesentlig del av teoriundervisningen om bevegelighet i emnet Treningslære.

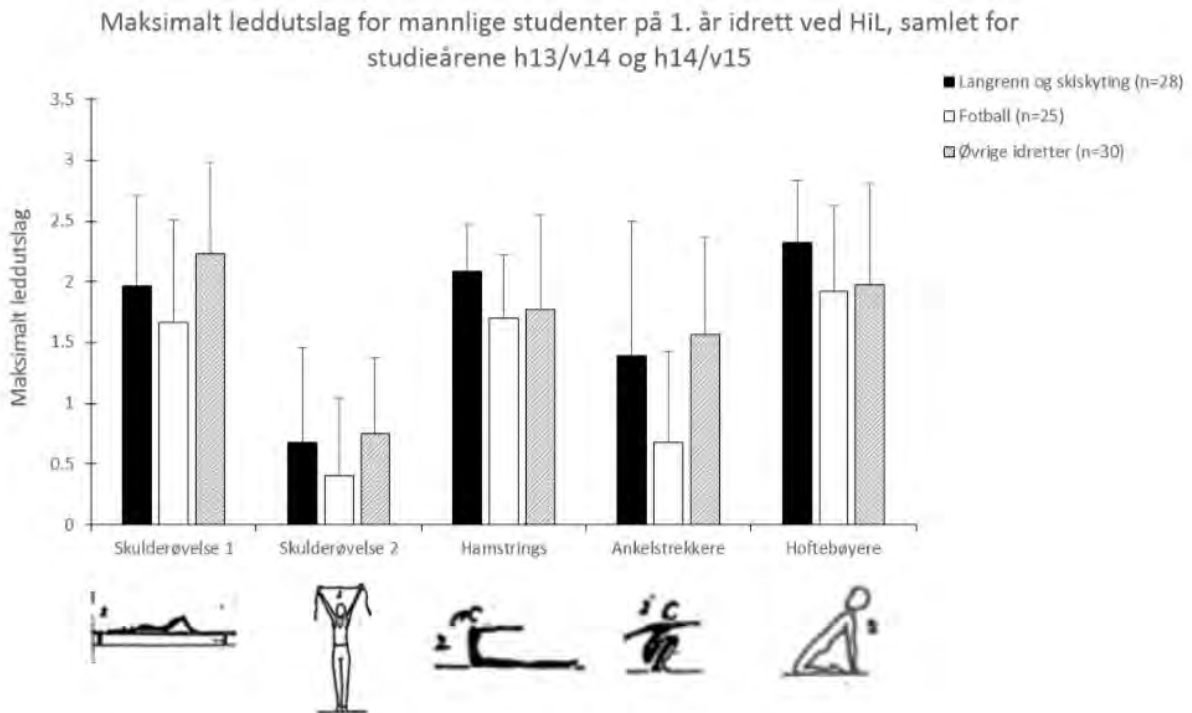
Bruken av studentenes egne data ble valgt for å gjøre undervisningen ekstra interessant for studentene samt fordi studentene gjennom sin inngående kjennskap til datainnsamlingen ble gitt en særlig god mulighet til å delta i en metodekritisk diskusjon. For teoriundervisningen om bevegelighet ble øvelsesvalg og innsamlede data dessuten anvendt i undervisningen omkring de metodiske begrepene reliabilitet og validitet. De tre slidene med studentdata for maksimalt leddutslag som jeg benyttet i teoriundervisningen i Treningslære studieåret h14/v15 er gjengitt nedenfor.

Test av maksimalt leddutslag. Resultater for 1BA idrett- kullene h13/v14 og h14/v15 samlet (n= 83 menn og 59 kv)

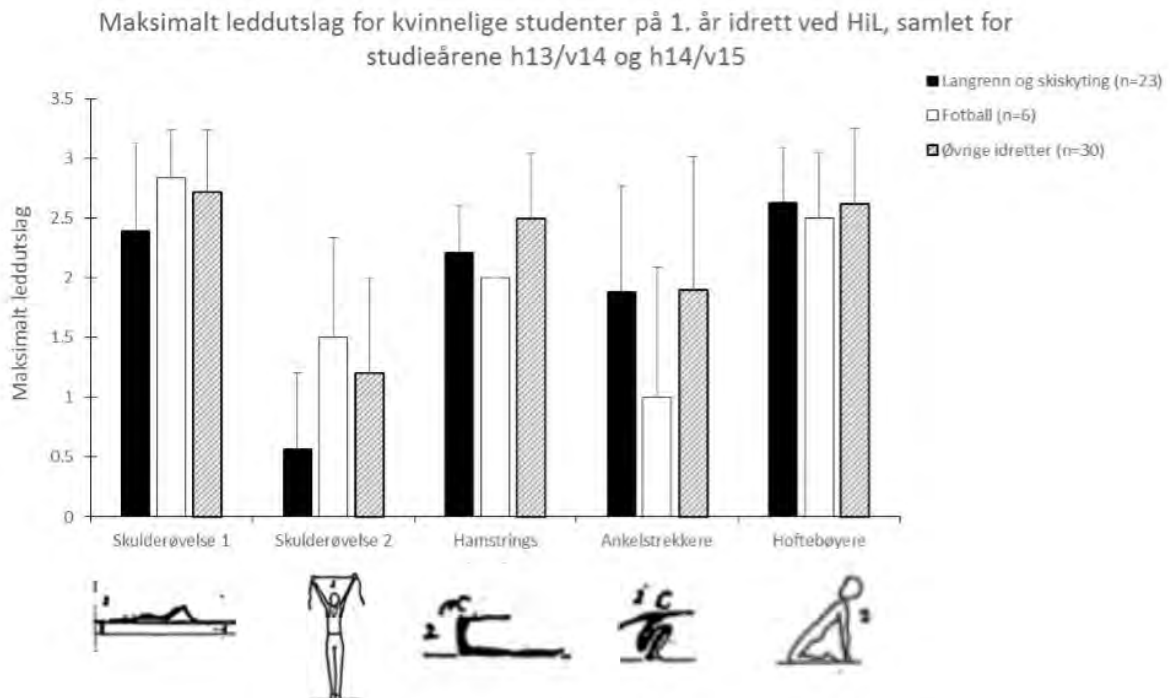


Figuren over viser de fem testøvelsene av maksimalt leddutslag som studentene på studiekullene h13/v14 og h14/v15 utførte og hva slags utførelse som minimum måtte oppnås for å få de ulike poengsummene. Tallene som for hver øvelse står oppført for henholdsvis menn og kvinner er gjennomsnittsverdiene for dette kjønnnet.





Figuren over viser gjennomsnittsverdiene for mennene på 1. år idrett i studieårene h13/v14- h14/v15 etter hvilken idrett studentene oppga å drive med. Funnen er oppgitt som gjennomsnittsverdier  $\pm$  standardavvik.



Figuren over resultatene for de fem testøvelsene av maksimalt leddutslag for kvinnelige studenter fordelt på idrett studentene oppga å drive med. Funnen er oppgitt som gjennomsnittsverdier  $\pm$  standardavvik.

## Datsett 4

For studieåret h14/v15 dreide et av arbeidskravene i Treningslære seg om styrketrening. I arbeidskravet valgte studentene selv om de ville levere et skriftlige sluttproduktet individuelt eller sammen med én eller to medstudenter. Alle studenter skulle teste 1RM i seks forhåndsbestemte styrkeøvelser (med definerte krav utførelse), samt teste maksimal hopp høyde i en forhåndsbestemt spensttest. Alle studentene som deltok på alle testene ble bedt om å rapportere sine verdier til undertegnede (anonymisert). Sammen med rapporteringen inngikk det opplysninger om kjønn samt om idrett studenten drev med. Undertegnede samlet alle innsamlede opplysninger i et Excelark som studentene brukte som utgangspunkt for rapporten. Oppgaveteksten lød:

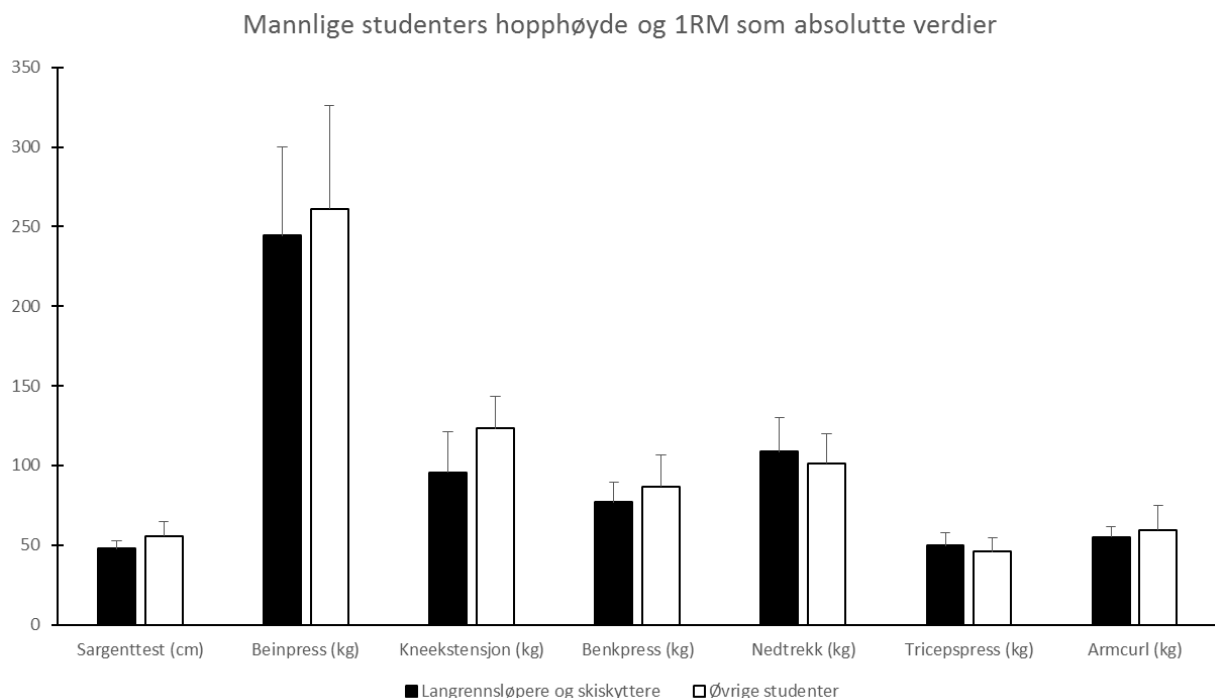
«1) Presenter resultatene for én av personene på skrive- gruppa (OK å presentere kun et utvalg av resultatene - det kan gjøre det lettere å ha en rød tråd i rapporten).

2) Gjør en sammenlikning av personens resultater (evt utvalgte resultater) og klassens resultater for samme kjønn og diskuter om forskjellene er som forventet.

3) Gjør en sammenlikning av personens resultater (evt utvalgte resultater) og resultatene for klassens langrennsløpere/ skiskyttere av samme kjønn og diskuter om forskjellene er som forventet.

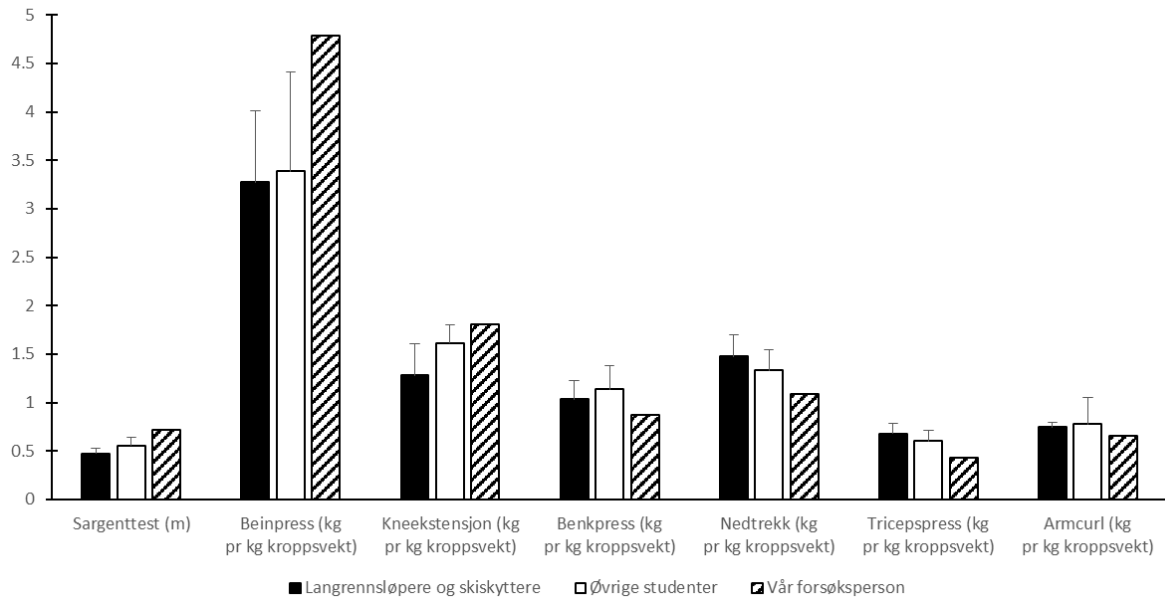
Presentasjonen av resultatene bør gjøres ved bruk av egnede figurer.»

Figurene nedenfor er tatt fra en studentgruppe som framstilte dataene sine på en hensiktsmessig måte. Forsøkspersonen på den aktuelle gruppa var en mannlig skihopper og hadde verdier som var typiske i forhold til idretten han drev med.



Figuren viser gjennomsnitt og standardavvik for mannlige studenters hopp høyde og 1RM som absolutte verdier.

Mannlige studenters hopphøyde og 1RM som relative verdier



Figuren viser gjennomsnitt og standardavvik for mannlige studenters hopphøyde og 1RM som relative verdier (antall kg løftet/ kroppsvekt). Verdiene for vår testperson er vist med en egen søyle.

Undertegnede utformet arbeidskravet med tanke på å gi studentene forskningsnære erfaringer.

I gjennom datainnsamlingen og den tilhørende rapporten fikk studentene trening i å:

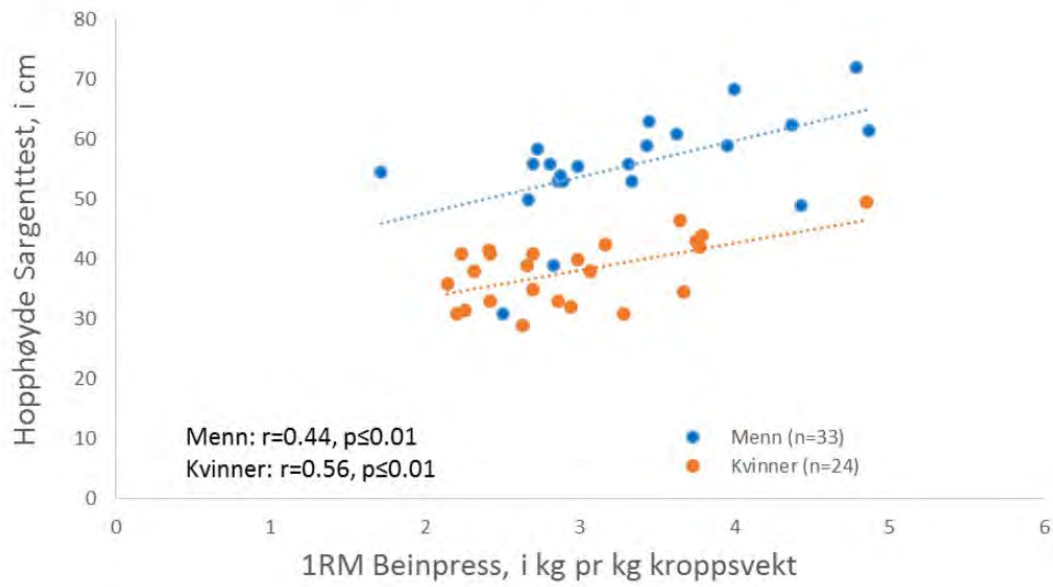
-gjennomføre testing og utvikle bevissthet omkring reliabilitet og validitet

-presentere resultater

-vurdere om resultatene er som forventet ved å tolke dem i en faglig kontekst (for eksempel vurdere om det er som forventet at langrensløpere/ skiskyttere scorer noe svakere på de fleste testene, unntatt Nedtrekk og Tricepspress)

I tillegg til at studentene bearbeidet dataene gjorde jeg også en del databearbeidinger selv og senere i semestrets Treningslære- undervisning valgte jeg å presentere dataene som er vist i figuren nedenfor. Jeg valgte å bruke studentenes egne data ble gjort for å gjøre undervisningen ekstra interessant for studentene samt fordi studentene gjennom sin inngående kjennskap til datainnsamlingen ble gitt en særlig god mulighet til å delta i en metodekritisk diskusjon.

### Studenter på 1BA idrett HiL våren 2015



Figuren over viser sammenhengen som ble funnet mellom dynamisk benstyrke (ved startposisjon 80 grader i kneleddet og høy fotposisjon) og maksimal hoppøyde i Sargenttest. For både menn og kvinner ble det funnet klare korrelasjoner mellom de to variablene ( $p \leq 0.01$ ).

# Individuelt spørreskjema Anatomi & bevegelseslære des. 2014

Takk for at du svarer på skjemaet! Skjemaet vil bli bearbeidet grundig av faglærer. Informasjonen du gir er viktig i arbeidet med undervisningskvalitet og utvikling av gode arbeidskrav. Ikke skriv navn på skjemaet.

1) Kjønn:

Kvinne \_\_\_ Mann \_\_\_

2) Når avsluttet du vg. skole?

2014 \_\_\_ 2013 eller tidligere \_\_\_

3) Gikk du på idrettsfaglig studieretning på vg?

Nei \_\_\_ ja \_\_\_

4) Har du toppidrettsstatus?

Nei \_\_\_ ja \_\_\_

**Markør på linja ved besvaring av spørsmålene nedenfor.**

5) Hvis du ser bort fra mekanikkdelen, i hvor stor grad synes du faget Anatomi og bevegelseslære har vært vanskelig? (dvs emnene anatomi, muskelfunksjon)

\_\_\_\_\_

ikke vanskelig

svært vanskelig

6) I hvor stor grad synes du mekanikkdelen i faget Anatomi og bevegelseslære har vært vanskelig?

\_\_\_\_\_

ikke vanskelig

svært vanskelig

7) Hvor lærerikt synes du arbeidskrav 1 var? (individuelt arbeidskrav om matematikk, grunnleggende biomekanikk og sannsynlighetsregning)

\_\_\_\_\_

ikke lærerikt

svært lærerikt

8) Hvor lærerikt synes du arbeidskrav 2 var? (individuell arbeidskrav med demonstrasjon av teknikk i styrketreningsøvelse)

---

ikke lærerikt

svært lærerikt

9) Hvor lærerikt synes du arbeidskrav 3 var? (grupperarbeidskrav med datainnsamling og rapportskrivning for 5 oppgaver: kneekstensjonskraft ved ulike vinkelhastigheter, hoftebøyerkraft ved armhengende benhev, høydeplassing av føtter i benpressøvelse, EMG- målinger ved armcurl og dips, hoppvarianter på kraftplattform)

---

ikke lærerikt

svært lærerikt

10) Hvor viktig var det for din motivasjon for læring at dere selv samlet inn data i arbeidskrav 3?

---

ikke viktig

svært viktig

11) Hvor mange var det på gruppa di på arbeidskrav 3? \_\_\_\_

12) Hvor mange på gruppa burde det vært for å gi optimal læring på arbeidskrav 3? \_\_\_\_

13) Hvor lærerikt synes du arbeidskrav 4 var? (grupperarbeidskrav med filming av teknikk med tilhørende framlegging)

---

ikke lærerikt

svært lærerikt

14) Hvor mange var det på gruppa di på arbeidskrav 4? \_\_\_\_

15) Hvor mange på gruppa burde det vært for å gi optimal læring på arbeidskrav 4? \_\_\_\_

16) Hvis de nåværende gruppearbeidskravene skulle vært byttet ut, hva ville du ønsket deg at de ble erstattet med? Kryss av for de alternativene du mener hadde vært gode.

- a) Fagrelevant engelskspråklig forskningsartikkel med tilhørende framlegging av artikkelens hovedinnhold (grupperarbeidskrav) \_\_\_\_
  - b) Obligatorisk innlevering av arbeidsoppgaver som er lagt ut etter undervisningstimene, (individuell arbeidskrav) \_\_\_\_
  - c) Har du andre forslag, skriv det ned her: \_\_\_\_\_
-

17) I hvor stor grad har du brukt dokumentet på Fronter kalt «Læringsmålsdokument»? (det 5 siders dokumentet som gir en utfyllende beskrivelse av emneplanen og som tydeliggjør emnets læringsmål)

\_\_\_\_\_

i liten grad

i svært stor grad

18) For å hjelpe deg i din læring og motivasjon for læring- synes du detaljnivået i læringsmålsdokumentet er passe?

\_\_\_\_\_

for lite detaljert

(passe)

for mye detaljert

19) Hvilken karakterambisjon har du for den skriftlige eksamenen i Anatomi og bevegelseslære?

A \_\_\_

B \_\_\_

C \_\_\_

D \_\_\_

E \_\_\_

20) I hvilken grad synes du undervisningen i de praktiske timene har vært lærerik?

\_\_\_\_\_

Ikke lærerik

svært lærerik

21) I hvilken grad synes du undervisningen i teoritimene har vært lærerik?

\_\_\_\_\_

Ikke lærerik

svært lærerik

22) For at ditt utbytte av teoritimene skulle blitt maksimalt, hva slags faglig nivå burde da undervisningen vært lagt på sammenliknet med hvordan det har vært?

Enklere faglig nivå \_\_\_

Omtrent samme faglige nivå \_\_\_

Dypere faglig nivå \_\_\_

23) Hvor høyt har oppmøtet ditt på teoritimene vært?

Under 50 % \_\_\_

50- 70 % \_\_\_

70- 90 % \_\_\_

90-100 % \_\_\_

24) I tillegg til undervisningen- hvor mange timer pr uke har du i høst gjennomsnittlig brukt på emnet Anatomi og bevegelseslære?

Under 5 timer \_\_\_\_ 5- 10 timer \_\_\_\_ 10- 15 timer \_\_\_\_ Over 15 timer \_\_\_\_

25) Hvor mange timer pr uke har du i høst gjennomsnittlig brukt på å arbeide med spørsmål som er lagt ut på Fronter etter teoritimene? (kalt «spørsmål til undervisning»)

Under 1/2 time \_\_\_\_ 1/2- 1 time \_\_\_\_ 1-2 timer \_\_\_\_ Over 2 timer \_\_\_\_

26) I hvilken grad har det vært lærerikt for deg å jobbe med spørsmål som er lagt ut på Fronter etter teoritimene?

---

Ikke lærerikt

svært lærerikt



RESEARCH ARTICLE

Open Access

# Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level

Geir Vegge<sup>1</sup>, Bent R Rønnestad<sup>1</sup> and Stian Ellefsen<sup>1,2\*</sup>

## Abstract

**Background:** The effect on performance of protein ingestion during or after exercise is not clear. This has largely been attributed to the utilization of different scientific protocols and the neglect of accounting for factors such as differences in physical and chemical properties of protein supplements and differences in athletic performance level.

**Methods:** We hypothesized that ingestion of unprocessed whey protein ( $15.3 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ) together with carbohydrate ( $60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ), would provide no ergogenic effect on 5-min mean-power performance following 120 min cycling at 50% of maximal aerobic power ( $2.8 \pm 0.2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ , corresponding to  $60 \pm 4\%$  of  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), compared to CHO alone ( $60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Conversely, we hypothesized that ingestion of the hydrolyzed marine protein supplement NutriPeptin™ (Np,  $2.7 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ ), a processed protein supplement with potentially beneficial amino acid composition, together with a PROCHO beverage ( $12.4 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  and  $60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ , respectively) would provide an ergogenic effect on mean-power performance. We also hypothesized that the magnitude of the ergogenic effect of NpPROCHO would be dependent on athletic performance. As for the latter analysis, performance level was defined according to a performance factor, calculated from individual pre values of  $W_{\text{max}}$ ,  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and 5-min mean-power performance, wherein the performance of each subject was ranked relative to the superior cyclist whose performance was set to one. Twelve trained male cyclists ( $\text{VO}_{2\text{max}} = 65 \pm 4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) participated in a randomized double-blinded cross-over study.

**Results and conclusions:** Overall, no differences were found in 5-min mean-power performance between either of the beverages (CHO  $5.4 \pm 0.5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; PROCHO  $5.3 \pm 0.5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ; NpPROCHO  $5.4 \pm 0.3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ( $P = 0.29$ ). A negative correlation was found between NpPROCHO mean-power performance and athletic performance level (using CHO-performance as reference; Pearson  $R = -0.74$ ,  $P = 0.006$ ). Moreover, ingestion of NpPROCHO resulted in improved 5-min mean-power performance relative to ingestion of CHO in the six lesser performing subjects compared to the six superior performing subjects ( $P < 0.05$ ). This suggests that with the current protocol, NpPROCHO provided an ergogenic effect on 5-min mean-power performance in athletes with a lower performance level.

**Keywords:** Hydrolyzed protein, Sport nutrition, Cycling performance

\* Correspondence: stian.ellefsen@hil.no

<sup>1</sup>The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology, Lillehammer University College, Lillehammer, Norway  
Full list of author information is available at the end of the article

## Background

Supplementation of nutrients is generally accepted as having an ergogenic effect on long-term physical performance (> 2 h) [1]. While carbohydrate (CHO) intake seems to be crucial, with current recommendations ranging from 30-70 g·h<sup>-1</sup> [1,2], the need for additional nutrients such as protein (PRO) remains elusive. Some studies have suggested that the addition of protein improves performance [3,4], while others have suggested that it has no effect [2,5-7] or even a negative effect [8]. The observed discrepancies have been ascribed factors such as inappropriate choices of test procedures [2,3,6,9], inadequate interpretation of data [9], differences in caloric intake [3] and the physical properties of the protein source [10], and has led to discussion [9,11]. Taken together, available data sets points towards a complex and unresolved causal connection between protein intake and performance level. The complexity is underlined by the meta-analysis by Stearns et al. [3], which suggested that adding protein to isoCHO beverages, thereby increasing the caloric intake, results in improved performance in time-to-exhaustion trials but not in time trial protocols.

Of particular interest as factors that may determine the ergogenic effect of nutrient supplements is the athletic performance level and the chemical structure and composition of the ingested nutrients. As for the former, available studies have investigated the effect of protein ingestion in athletes with a broad spectrum of performance levels, with mean maximal oxygen consumption (VO<sub>2max</sub>) values ranging from 46 to 63 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. This suggests extensive individual variation in physiology, which is likely to affect the outcome of such experiments. More specifically, differences in parameters such as genetics, epigenetics and training status are likely to be associated with differences in responses to concurrent ingestion of nutrients and physical activity. This will lower the statistical power of any given experiment and thus challenges straightforward evaluation of group-wise effects and causalities. Indeed, accounting for differences in performance level has been pointed out as a weakness of previous studies in sport nutrition [9]. This is in line with recent publications suggesting that individual variation in physiology has been erroneously ignored as an underlying determinant of sport performance [12-14].

Ingestion of protein supplements that vary in refinement status and chemical structure are likely to have differential effects on physical performance. This remains one of the largely unexploited aspects of sports nutrition and a particularly intriguing is the potentially ergogenic effect of hydrolyzed protein [15]. Indeed, hydrolyzed protein supplements are emerging as

commercially available products [15]. Until now, however, the scientific basis for recommending hydrolyzed protein intake during physical activity is limited. Although experiments have suggested a positive effect on late-stage long-term cycling performance [10] and on molecular adaptations to and recovery from resistance training [16,17], no study has compared the effects of protein and hydrolyzed protein on endurance performance. The effects of hydrolyzed protein supplementation remains elusive.

Furthermore, different sources of protein provide protein supplements with different amino acid composition. This will bring about differences in nutrient absorption kinetics and metabolic responses, which surely will affect ergogenic properties. For example, whey protein elicits a different absorption profile than casein protein and also affects whole body protein metabolism in a different way [18]. Amino acid composition can thus be anticipated to have an impact on the ergogenic effects of a protein supplement in much the same way as protein hydrolyzation was hypothesized to have. Intriguingly, compared to ingestion of soy and casein PRO, long-term ingestion of fish protein hydrolysate has been indicated to result in increased fatty acid oxidation in rats [19], an effect that has been linked to a high content of the amino acids taurine and glycine [19,20]. In the context of human sport nutrition, ingestion of fish protein hydrolysate thus emerges as an interesting candidate for improving physical performance, potentially exerting its effect by shifting the metabolism towards fatty acids and thus away from glycogen, delaying the depletion of glycogen stores that typically coincides with physical exhaustion [21,22].

We hypothesized that there would be no ergogenic effect of ingesting a protein + carbohydrate (PROCHO) beverage (15.3 g·h<sup>-1</sup> and 60 g·h<sup>-1</sup>, respectively) on 5-min mean-power cycling performance following 120 min of steady-state cycling at moderate intensity (50% of maximal aerobic power, W<sub>max</sub>) in trained cyclists (VO<sub>2max</sub> ranging from 60 to 74 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>; mean 65 ± 4) compared to ingesting a carbohydrate (CHO) beverage (60 g·h<sup>-1</sup>). Conversely, we hypothesized that adding the codfish-based hydrolyzed protein supplement Nutripeptin™ (Np, 2.7 g·h<sup>-1</sup>) (Nutrimarine Innovation AS, Bergen, Norway) to the PROCHO beverage (12.4 g·h<sup>-1</sup> and 60 g·h<sup>-1</sup>, respectively) (NpPROCHO) would result in improved performance compared to CHO and PROCHO alone. We further hypothesized that the extent of the ergogenic effect resulting from NpPROCHO ingestion would correlate with athletic performance level measured as a performance factor calculated from W<sub>max</sub>, VO<sub>2max</sub> and familiarization test 5-min mean-power cycling performance.

## Methods

### Subjects

Twelve moderately to well-trained male cyclists, aged 19-27 years (mean  $22 \pm 2$ ) and  $VO_{2max}$  60-74  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (mean  $65 \pm 4$ ) were recruited by public advertisement. The cyclists were required to having performed a minimum of 6 h of endurance training weekly during the six months leading up to the study, with a main focus on cycling. All cyclists signed an informed consent form prior to participation and the study was approved by the Southern Norway regional division of the National Committees for Research Ethics. Three of the initial 16 cyclists did not make the inclusion requirements of the study and were excluded from data analyses, while a fourth athlete dropped out of the study due to illness.

### Experimental design

$VO_{2max}$  was assessed at baseline and 60  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  was set as an inclusion criteria. The effects of ingesting each of the three beverages (CHO, PROCHO and NpPROCHO) on physical performance was tested on three separate test days, separated by at least 4 days and no more than 10 days. The study was designed and carried out in a randomized, double-blinded and crossed-over manner. The three test days consisted of 120 min cycling at 50% of maximal aerobic power ( $W_{max}$ ), as calculated from the  $VO_{2max}$  data set in accordance with Rønnestad, Hansen and Raastad [23]. For each of the three test days, the 120 min of steady-state cycling was accompanied by ingestion of 180 mL of one of the beverages at 15 min intervals. Four minutes after the 120 min of cycling, a 5-min mean-power performance test was performed.

### Beverages

The CHO beverage contained 8.3% maltodextrin (60  $g \cdot h^{-1}$ ). The PROCHO beverage contained 2.1% intact whey protein (15.3  $g \cdot h^{-1}$ ) and 8.3% maltodextrin (60  $g \cdot h^{-1}$ ). The NpPROCHO beverage contained 0.4% Nutripep™ (Np, 2.7  $g \cdot h^{-1}$ ) (Nutrimarine Innovation AS, Bergen, Norway), 1.7% intact whey protein (12.4  $g \cdot h^{-1}$ ) and 8.3% maltodextrin (60  $g \cdot h^{-1}$ ). CHO ingestion was set to a level sufficiently high to ensure maximal CHO uptake at all three test day [1]. Accordingly, the three beverages contained equal amounts of CHO, which is a functional prerequisite for any sport beverage. The two protein-containing beverages were supplied with iso-caloric amounts of protein.

All three beverages were supplemented with the same flavour. The participants still reported the different beverages to have distinct tastes. Importantly, however, the identity of the beverages was not at any time revealed to

either the participants or to the test leader. Moreover, because the participants had no previous experience with the beverages and did not know their detailed composition, they could not identify the different beverages. Notably, Np is not a purified protein source, but rather consists of proteolyzed tissue. Compared to for example mixtures of casein protein it contains excessive amounts of B-vitamin complexes. Importantly, B-vitamins does not seem to provide an ergogenic effect on endurance performance in humans [24].

### Test procedure

The cyclists were instructed to refrain from intense exercise for the 48 hours preceding each test. They were also instructed to prepare for each test as if it was a competition event and to prepare for the different test sessions in the same way (i.e. ingesting the same type of meal at a set time interval from the test session). They were restricted from eating food for the 90 min preceding each test and from consuming coffee or other caffeine-containing products for the 4 h preceding each test. The cyclists were cooled with a fan throughout the exercise bouts. All tests were performed under similar environmental conditions (20-22°C). For each cyclist, the three tests involving ingestion of beverages were performed at approximately the same time of day to avoid circadian variance. All cycling tests were performed on the same electromagnetically braked cycle ergometer (Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, the Netherlands), which was adjusted in a standardized manner to each cyclist's preferred seat height, distance between the seat and the handle bars, and horizontal distance between the tip of the seat and the bottom bracket. Cyclists were allowed to choose their preferred cadence during all cycling tests (no differences were found between test days; data not shown) and they were allowed to use their own shoes and pedals.

### Test of $VO_{2max}$ and familiarization to the 5-min mean-power test

In the first test session, the cyclists performed an incremental cycle ergometer test for determination of  $VO_{2max}$ , as previously described by Rønnestad et al. [23]. The session was preceded by 20 min of low intensity warm-up on the cycle ergometer, in which the last part included two 45 s periods at higher intensities. Before starting the  $VO_{2max}$  test the cyclists rested for 2 min. The  $VO_{2max}$  test was initiated with 1-min cycling at a power output corresponding to 3  $W \cdot kg^{-1}$  (rounded down to the nearest 50 W). Power output was then increased by 25 W every 1 min until exhaustion. When the cyclists evaluated that they could not manage another 25 W increase in power output, they were encouraged to continue cycling at the current power

output for as long as possible (usually 30-90 s). Oxygen consumption and respiratory exchange ratio (RER) were measured (30 s sampling time) using a computerized metabolic system with a mixing chamber (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany) that was calibrated according to manufacturer's recommendations.

Heart rate (HR) was measured continuously throughout the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  test using a HR monitor (Polar, Kempele, Finland). Maximal aerobic power ( $W_{\text{max}}$ ) was calculated as the mean power output during the last 2 min of the incremental test.  $W_{\text{max}}$  values were utilized to determine power output to be used during the prolonged cycling events on the three test days involving beverage ingestion. After the incremental  $\text{VO}_{2\text{max}}$  test, the cyclists performed 15 min of low-intensity cycling before the test session was completed with a 5-min mean-power familiarization test. To ensure stable performance level of the participants during the entire experimental period, the  $\text{VO}_{2\text{max}}$  test was repeated 4-10 days after the last test day with beverage ingestion. No differences were found between the first and the last  $\text{VO}_{2\text{max}}$  test ( $65.0 \pm 4$  vs  $65.6 \pm 6$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $P = 0.79$ ).

#### **Prolonged cycling followed by 5-min mean-power cycling**

On each of the three test days involving ingestion of beverages, the cyclists performed 120 min of cycling at  $207 \pm 21$  W, representing 50% of  $W_{\text{max}}$ , followed by a 5-min mean-power test. The duration and intensity of the bout of prolonged cycling was based on the pre-exhausting phase used in similar studies [e.g. [6]]. During the prolonged cycling, the ergometer was in a cadence-independent mode (constant Watt-production), so that the pre-set power output was not affected by the cyclist's chosen cadence. Cyclists were allowed to occasionally stand in the pedals during the prolonged cycling, but not during the final 5-min mean-power test.

Four min after completion of 120 min of prolonged cycling the 5-min mean-power test was performed. In line with an earlier study [25,26], the 5-min mean-power test was chosen as a functional measure of the capacity for very intensive cycling, such as occurs during a breakaway attempt, crosswind cycling, or steep uphill cycling, all of which may be decisive situations in a road race. For the 5-min mean-power test, the ergometer mode was changed to cadence-dependent mode, in which the power output increases with increasing cadence according to the formula:  $W = L \times (\text{rpm})^2$ , where  $W$  is the power output, rpm is the cadence, and  $L$  is a constant determining the electronic gearing of the system.  $L$  was set to 0.044 based on the prediction that the mean power output during the 5-min mean-power test would be between 360 and 400 W, as suggested from findings in a previous study [25]. All cyclists were encouraged to produce as high a mean power output as

possible during the 5-min mean-power test. Towards the end of the 5-min test, all subjects received encouraging feedback on power output production and time elapsed, but not HR or cadence, to ensure maximal performance. The mean power output was calculated and used in statistical analyses.

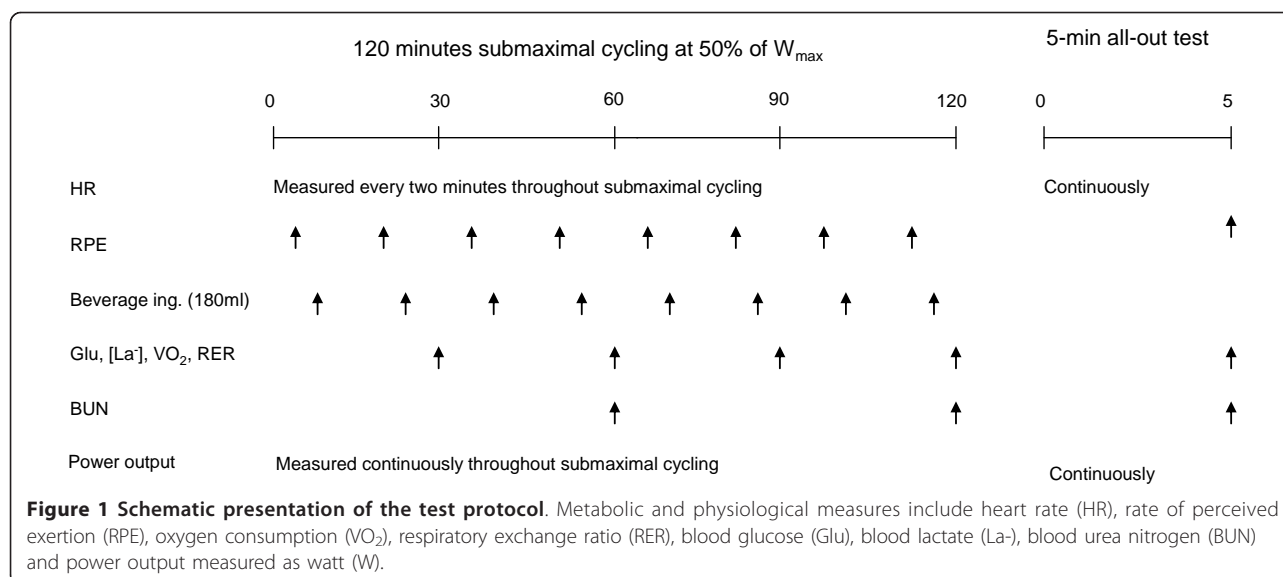
During the 120 min of pre-exhausting exercise, data on HR and cadence were collected every two min and data on the rate of perceived exertion (RPE) was collected every 15 min. Oxygen uptake,  $\text{CO}_2$  production and RER data were collected for 3-min intervals every 30 min. Blood glucose concentration and blood lactate concentration were measured in whole blood from the finger tips using the Contour blood glucose monitoring system (Bayer Healthcare, NY, USA) and the Lactate protein LT-1710 analyzer (Arcray Inc. Kyoto, Japan), respectively. This was done every 15 min. Blood urea nitrogen (BUN) was measured in whole blood from fingertips using an i-STAT<sup>®</sup> handheld clinical analyzer with EG-8+ cartridges (Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, USA) at onset and after completion of the 120 min event. See Figure 1 for a schematic presentation of the data collection process.

During the 5-min mean-power test the following parameters were continuously measured: cadence, HR,  $\text{VO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  production and RER data. Immediately after the 5-min mean-power test, blood lactate was measured in whole blood from the finger tips as previously described and RPE was registered. See Figure 1 for a schematic presentation of the data collection process.

Unfortunately, due to a technical flaw with the equipment for metabolic assessment complete data sets for  $\text{VO}_2$  and RER was only obtained for six of the twelve participants. However, as the main hypothesis was connected to power output data obtained during the 5-min mean-power tests, this was evaluated to be of minor consequences for the outcome of the study.

#### **Statistics**

In general, physiological data from the 120 min of prolonged cycling were analyzed for beverage-specific differences by repeated measures two-way ANOVA (HR,  $\text{VO}_2$ , RER, blood lactate, and blood glucose). Within-beverage-test changes were analyzed by a paired  $t$ -test with a Bonferroni adjustment. BUN-data from the 120 min of prolonged cycling were analyzed for beverage-specific differences and for within-test changes by a paired  $t$ -test with Bonferroni adjustment. In these calculations, BUN-values at 30, 60, 90 and 120 min were referenced to BUN-values at 0 min which was set to 1.0. Power output data from the 5-min mean-power test were analyzed for beverage-specific differences by a repeated measures one-way ANOVA. Moreover, the linear relationship between beverage-specific 5-min mean-



power output performance and pre-test performance level measured as a performance factor, calculated from  $W_{max}$ ,  $VO_{2max}$  and familiarization test 5-min mean-power cycling performance (see Table 1 for thorough description), was analyzed using Pearson correlation, with subsequent calculation of 95% confidence intervals. In this analysis and in all other analyses relating mean-power cycling performance to performance level, NpPROCHO and PROCHO performance was assessed as performance in percentage of CHO performance. The reason for this is that protein-supplementation was evaluated to be beneficial only if it improves performance compared to CHO-only, which is heavily supported in

the literature as a prerequisite for long-term endurance performance [1,2]. Accordingly, NpPROCHO and PROCHO performance was evaluated to be interesting only in light of CHO performance, and CHO performance was set as baseline. Furthermore, in an analysis related to the correlation analysis, the cyclists were divided into two equally sized groups based on their individually calculated performance factor. Subsequent to this, the effect of ingesting NpPROCHO and PROCHO, respectively, relative to CHO was tested between the two groups with a unpaired *t*-test. Furthermore, a comparison of the effect of ingesting NpPROCHO and PROCHO relative to CHO was performed within each

**Table 1 Calculation of a performance factor from pretest values of  $VO_{2max}$ ,  $W_{max}$  and 5-min test mean-power performance for performance-based ranking of the cyclists**

Subject	$VO_{2max}$		W·kg <sup>-1</sup> 5 min test		$W_{max}$		Performance factor average of normalized quantity
	raw	normalized	raw	normalized	raw	normalized	
1	62	0.84	4.4	0.75	5.0	0.78	0.79
2	60	0.81	4.8	0.80	4.9	0.76	0.79
3	61	0.83	4.8	0.80	5.1	0.80	0.81
4	63	0.85	4.4	0.74	5.5	0.86	0.82
5	60	0.81	4.9	0.83	5.8	0.91	0.85
6	66	0.89	5.0	0.84	5.7	0.88	0.87
7	64	0.87	5.4	0.92	5.5	0.87	0.88
8	66	0.89	5.3	0.90	5.8	0.91	0.90
9	71	0.96	5.4	0.91	5.4	0.84	0.90
10	67	0.91	5.3	0.89	6.0	0.94	0.91
11	68	0.92	5.9	1.00	6.1	0.95	0.96
12	74	1.00	5.7	0.95	6.4	1.00	0.98

First, for each of the three parameters, the superior performing cyclist's value was then utilized for normalization of the performance of the other cyclists, i.e. the performance of each of the other cyclists was calculated as a fraction of the superior performance, thus showing values < 1. For each subject, the ultimate performance factor was calculated as the mean of the normalized  $VO_{2max}$ ,  $W_{max}$  and 5-min test mean-power performance values.

**Table 2 Heart rate (HR), oxygen consumption (VO<sub>2</sub>), and respiratory exchange ratio (RER) during 120 min submaximal cycling at 50% of maximal aerobic power with ingestion of either carbohydrate (CHO), protein + carbohydrate (PROCHO) or Nutripeptin™ + protein + carbohydrate (NpPROCHO).**

Degree of completion	HR (bpm)			VO <sub>2</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )			RER		
	CHO	PROCHO	NpPROCHO	CHO	PROCHO	NpPROCHO	CHO	PROCHO	NpPROCHO
25%	141 ± 9	141 ± 8	144 ± 7	39.6 ± 3.0	39.7 ± 3.0	40.2 ± 3.4	0.91 ± 0.01	0.92 ± 0.02	0.91 ± 0.02
50%	142 ± 10	144 ± 10	146 ± 7	39.4 ± 3.0	40.1 ± 3.3	40.4 ± 3.9	0.91 ± 0.01	0.92 ± 0.02	0.90 ± 0.01
75%	143 ± 10	146 ± 10	147 ± 8	40.0 ± 3.4	40.4 ± 3.4	41.1 ± 4.2	0.90 ± 0.01	0.91 ± 0.03	0.90 ± 0.01
100%	149 ± 12	150 ± 12	150 ± 9	40.9 ± 3.4	41.3 ± 3.2	41.5 ± 4.8	0.88 ± 0.02	0.90 ± 0.04	0.89 ± 0.01

No differences were found between groups. N = 12 for HR; N = 6 for VO<sub>2</sub> and RER

performance groups with a paired *t*-test. For this within-group analysis, we also calculated the effect size (ES) (Cohen's *d*). For all analyses, *P* < 0.05 was considered significant. In analyses involving Bonferroni adjustments, *P* < 0.017 was considered significant. All statistical calculations were performed using Graphpad Prism5 (GraphPad Software Inc., California, USA). The effect size (ES) calculation was performed using a web resource <http://www.uccs.edu/~faculty/lbecker/>. All values are mean ± SD, unless otherwise stated.

## Results

### 120 min submaximal exercise

During the prolonged cycling the athletes were exercising at 62 ± 4% of VO<sub>2max</sub>. Ingestion of the three supplements CHO, PROCHO, and NpPROCHO did not provide differences in HR, VO<sub>2</sub>, or RER at 30 min, 60 min, 90 min, or 120 min of the prolonged submaximal cycling (Table 2). Nor did the three beverages result in differences in blood glucose and blood lactate (Table 3) or in RPE (mean values ranging from 11.1 to 13.5 across time points and supplements during the prolonged cycling; data not shown). The supplements did, however, result in differences in the concentration profile of BUN. While ingestion of CHO did not result in changes in BUN levels between baseline (6.3 ± 1.5 mM) and 120 min (6.7 ± 1.8 mM) of steady-state cycling, ingestion of PROCHO and NpPROCHO resulted in changes from

5.9 ± 1.1 mM to 7.7 ± 1.8 mM (*P* < 0.017) and from 6.1 ± 1.5 to 7.5 ± 1.9 mM (*P* < 0.0003), respectively (Table 3). The NpPROCHO beverage was associated with higher BUN values after 120 min of cycling than the CHO beverage (*P* < 0.017), an effect that was not quite found for the PROCHO beverage (*P* = 0.03) (Table 3). No difference was found between PROCHO and NpPROCHO beverages (*P* = 0.44).

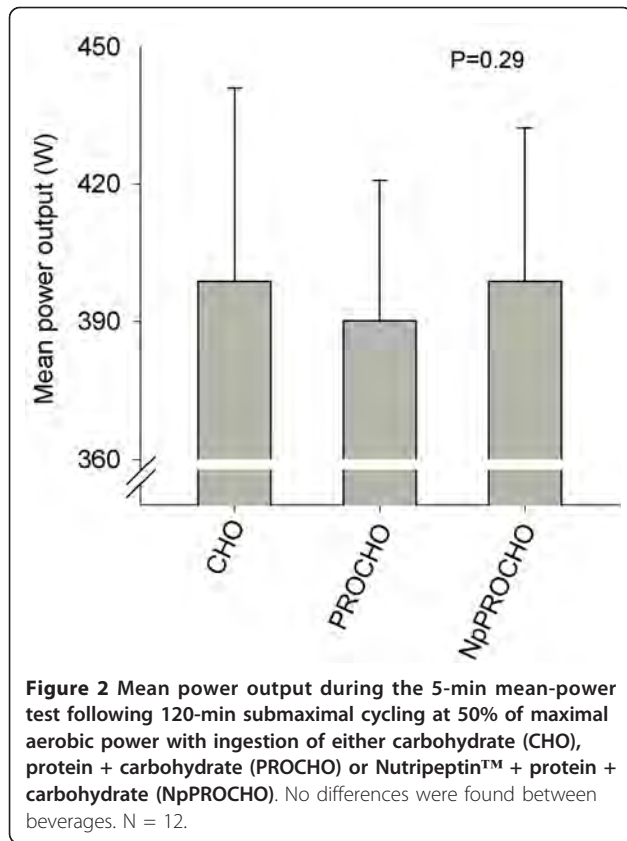
### 5-min mean-power test performance

Mean power output during the 5-min mean-power test was not different between beverages; CHO 399 ± 42 W (5.4 ± 0.5 W·kg<sup>-1</sup>), PROCHO 390 ± 31 W (5.3 ± 0.5 W·kg<sup>-1</sup>) and NpPROCHO 399 ± 33 W (5.4 ± 0.3 W·kg<sup>-1</sup>) (*P* = 0.29, Figure 2). No differences were found in control parameters RPE and blood lactate between beverages as sampled directly after the 5-min mean-power test (data not shown). However, a negative correlation was found between performance in the NpPROCHO 5-min mean-power test and athletic performance level measured as a performance factor, as developed in Table 1 (Pearson *R* = -0.74 with 95% confidence interval -0.92 to -0.29, *P* = 0.006, Figure 3), a correlation that was also found between NpPROCHO 5-min mean-power performance and each of the subcomponents of the performance factor (W<sub>max</sub>, Pearson *R* = -0.74, *P* = 0.006; VO<sub>2max</sub>, Pearson *R* = -0.67, *P* = 0.02 and 5-min mean-power-output from the familiarization test,

**Table 3 Lactate, blood glucose and Blood Urea Nitrogen (BUN) concentrations in venous blood previous to, during and after 120-min of submaximal cycling at 50% of maximal aerobic power with ingestion of either carbohydrate (CHO), protein + carbohydrate (PROCHO) or Nutripeptin™ + protein + carbohydrate (NpPROCHO).**

Degree of completion	Lactate (mmol·L <sup>-1</sup> )			Glucose (mmol·L <sup>-1</sup> )			BUN (mmol·L <sup>-1</sup> )		
	CHO	PROCHO	NpPROCHO	CHO	PROCHO	NpPROCHO	CHO	PROCHO	NpPROCHO
0%	1.4 ± 0.3	1.4 ± 0.4	1.5 ± 0.5	5.4 ± 0.6	5.3 ± 0.7	5.3 ± 1.0	6.3 ± 1.5	5.9 ± 1.1	6.1 ± 1.5
25%	1.4 ± 0.4	1.5 ± 0.6	1.6 ± 0.4	5.8 ± 0.6	5.7 ± 0.5*	6.1 ± 1.1*	NA	NA	NA
50%	1.4 ± 0.2	1.3 ± 0.4	1.6 ± 0.4	5.5 ± 0.6	5.3 ± 0.4	5.3 ± 0.6	NA	NA	NA
75%	1.2 ± 0.3	1.2 ± 0.4	1.3 ± 0.2	5.2 ± 0.7	5.4 ± 0.4	5.5 ± 0.7	NA	NA	NA
100%	1.3 ± 0.5	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.5	5.5 ± 0.6	5.6 ± 0.4	5.7 ± 0.5	6.7 ± 1.8 <sup>a</sup>	7.7 ± 1.8 <sup>**</sup> , <sup>ab</sup>	7.5 ± 1.9 <sup>***</sup> , <sup>b</sup>

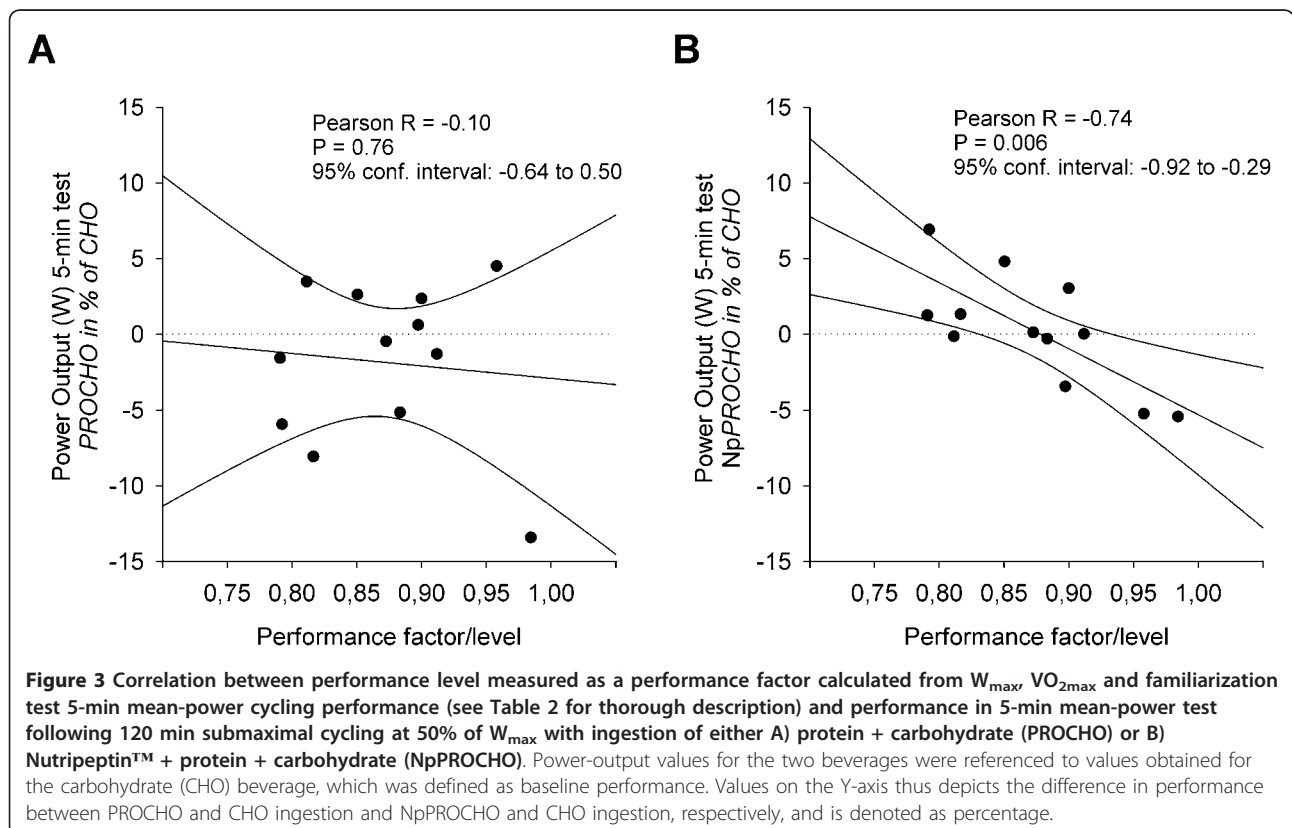
Asterixes (\*, \*\* and \*\*\*) denote changes in concentrations that occur during the time-course of each particular subset of prolonged cycling (compared to baseline set to 0%). \* = *P* < 0.017, \*\* = *P* < 0.003, \*\*\* = *P* < 0.0003. Letters (a and b) denote differences in concentrations that occur between subsets of prolonged cycling. N = 12

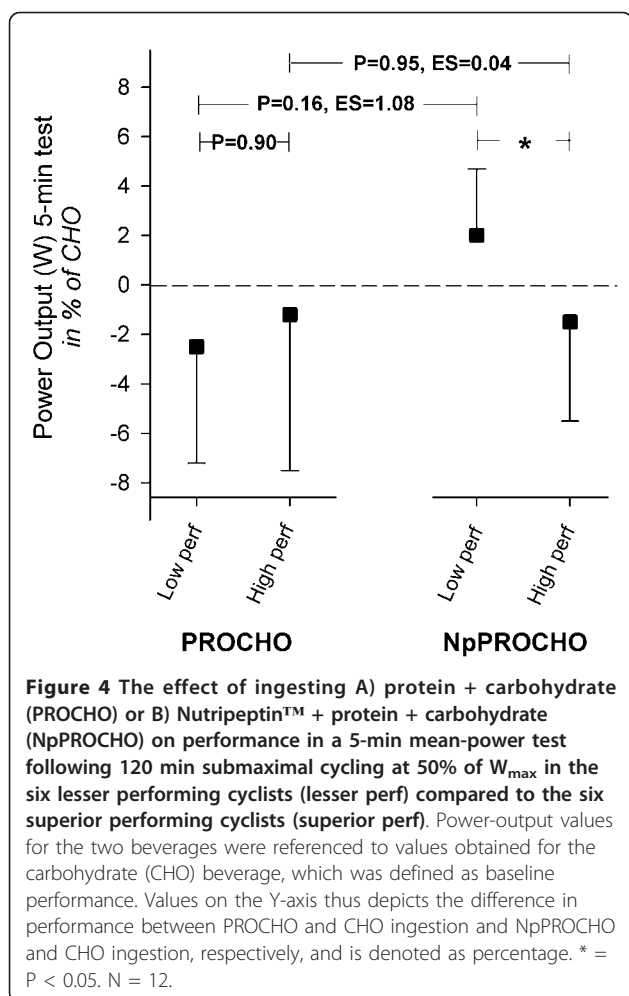


Pearson  $R = -0.66$ ,  $P = 0.02$ ). No such correlation was found for the PROCHO beverage (Figure 3). The NpPROCHO vs performance factor correlation showed a Pearson  $R^2$  of 0.54, suggesting that 54% of the observed difference in power output performance between CHO and NpPROCHO can be explained by differences in athletic performance level. Indeed, when the cyclists were divided into two equally sized groups based on their individually calculated performance factor (Table 1), ingestion of NpPROCHO resulted in improved power output-performance relative to ingestion of CHO in the lesser performing cyclists compared to the superior performing cyclists (-2.4% vs -1.9%,  $P < 0.05$ ) (Figure 4). As for ingestion of PROCHO, no such effect was observed. Adding to this, in the lesser trained athletes, ingestion of NpPROCHO had a positive effect on power output performance relative to CHO compared to ingestion of PROCHO ( $ES = 1.08$ ). This classifies as a *large* ES and signifies that the mean of the performance of the NpPROCHO group lies at the 88 percentile of the PROCHO group.

### Discussion

This is the first study to compare the effects of ingesting supplements of protein and hydrolyzed protein on physical endurance performance. The results show that,





with the current protocol, there was no mean effect on 5-min mean-power performance of ingesting the marine hydrolyzed protein-supplement Nutripeptin™ (Np) together with protein and carbohydrate during the preceding 120 min of submaximal cycling. Importantly, however, ingestion of the NpPROCHO-beverage resulted in an interesting correlation between performance in the 5-min mean-power test and athletic performance level measured as a performance factor calculated from  $W_{max}$ ,  $VO_{2max}$  and familiarization test 5-min mean-power performance. Although there are unavoidable uncertainties associated with analyzing data from a limited number of biological replicates, the confidence interval analysis suggested a high level of credibility. The data thus indicates that for cyclists with a lower performance level, herein those showing  $VO_{2max}$  values in the lower part of the participant cohort (decreasing towards  $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), the Np-supplement may have had an ergogenic effect on 5-min mean-power performance compared to CHO alone. Indeed, when the cyclists were divided into two equally sized groups

based on athletic performance level, NpPROCHO improved 5-min mean-power output-performance relative to CHO in the lesser performing athletes but not in the superior performing athletes. The ergogenic effect in the lesser performing cyclists was associated with a large effect size. This brings forward a hypothesized delay in skeletal muscle fatigue, which could have to do with modulation of cellular events such as depletion of glycogen levels, removal of waste products or oxidative ATP production. In addition to this, the data suggests that ingestion of unprocessed protein together with carbohydrate during 120 min of submaximal cycling does not improve performance in a subsequent 5-min mean-power test compared to ingestion of carbohydrate alone. This is in line with results from several other studies [2,5,6].

All three beverages investigated in this study contained carbohydrate levels corresponding to intake of  $60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ . This should have ensured maximal rates of exogenous carbohydrate oxidation [1]. In each of the two beverages containing protein, the protein fraction corresponded to an intake of about  $15 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ , increasing the overall caloric content of these beverages. Accordingly, the apparent lack of an ergogenic effect of supplying an iso-carbohydrate beverage with protein or hydrolyzed protein suggests that protein offers no acute caloric advantage for a performing athlete. In agreement with this, the three beverages were associated with similar RER values throughout the prolonged submaximal exercise, suggesting that protein ingestion did not result in a major metabolic shift towards amino acid oxidation or fatty acid. As for the Nutripeptin™-containing beverage, this lack of a metabolic shift contrasts the hypothesized role of the supplement as a signal that provides a switch towards fatty acids. Nevertheless, NpPROCHO ingestion but not PROCHO was associated with a possible ergogenic effect, despite the fact that the two beverages iso-protein-caloric. Notably, for both of the protein-containing beverages the ingested protein seemed to be absorbed and catabolized, as evaluated from the similar increases in blood concentrations of the protein-degradation by-product BUN measured subsequent to 120 min of steady-state cycling.

An interesting consequence of the correlative relation between NpPROCHO performance and athletic performance level was that the beverage resulted in lowered performance in the better athletes. As touched upon in the previous discussion this could be an effect of the specific protocol utilized in this study and the outcome may have been different if the pre-exhaustive cycling phase had been longer-lasting. These results are not easy to explain based on current knowledge, especially as the PROCHO beverage did not result in a similar correlation. A speculative explanation could be a



potential difference in the insulinogenic response offered by the two beverages. Previous studies have at least shown that ingestion of hydrolyzed protein is associated with a substantially greater insulinogenic response than ingestion of intact protein [27,28]. Mechanistically, this response has been linked to hypoglycaemia, and has been linked to lowered physical performance during early phases of exercise [29]. On the other hand, an elevated insulinogenic response has also been associated with a quantitative increase in glycogen synthesis, which in turn is likely to lower glycogen turn-over rates [22] and thereby delay exhaustion of glycogen stores. This could explain the improved performance found in the lower performing athletes while ingesting NpPROCHO.

The potential ergogenic effect of Nutripeptin™ on long-lasting physical performance is either related to its physical status (i.e. it consists of degraded protein) or to its chemical composition (i.e. the amino acid composition). As for the first explanation, Saunders et al. [10] speculated that hydrolyzed protein is absorbed more efficiently across the gastrointestinal (GI) wall than intact proteins and that this may mediate improved performance. This would result in a more rapid and larger increase in [protein/amino acids] in blood plasma, with potential physiological effects such as an augmented insulinogenic response. In our opinion, this is unlikely to have been the case in our study, primarily because the similar increase in BUN values observed for the two protein beverages suggests that the performance-related differences between the beverages was not caused by differences in uptake or oxidation rates of amino acids. Secondly, the ingestion of intact whey protein and hydrolyzed whey protein has been shown to be associated with similar absorption kinetics, with hydrolyzed protein actually being associated with slower insulinogenic kinetics [27]. As for the second potential explanation, regarding a role for the chemical composition of Nutripeptin™, this has previously been suggested to underlie the increased oxidative capacity and loss of visceral fat observed in rats after long-term ingestion of hydrolyzed fish protein [19,20], suggesting a metabolic shift towards fatty acids. This, however, is unlikely to be the explanation behind the potential ergogenic effect of NpPROCHO ingestion relative to CHO, as the RER data suggests that similar substrate sources were utilized for ATP production for all three beverage treatments.

## Conclusions

In summary, our results give support to the hypothesis that co-ingestion of carbohydrate and unprocessed protein does not improve 5 min mean-power performance following 120-min prolonged submaximal cycling compared to ingestion of CHO alone. Correlational analysis indicates that Np added with whey protein and

carbohydrate may provide ergogenic benefit for lesser trained athletes. However, the current data precludes us from definitively positing this, and mechanisms of such possible effects remain unknown. The effect seems to be restricted to athletes that were approaching their limits of physical achievement. To further elucidate this intriguing prospect, future research should focus on protocols with longer-lasting pre-exhaustive submaximal exercise (> 120 min), followed by a time trial, ensuring a more competition-like simulation for cyclists. Future studies should also include surveillance of parameters such as insulinogenic responses and should address degrees of muscular exertion by measuring parameters such as glycogen content. For athletes competing in events such as cycling, ingestion of Nutripeptin™ could prove an essential step towards optimizing prolonged endurance performance.

## Abbreviations

CHO: Beverage containing carbohydrate; PROCHO: Beverage containing protein + carbohydrate; NpPROCHO: Beverage containing Nutripeptin™ + protein + carbohydrate.

## Acknowledgements

Thanks to Joar Hansen, Torgeir Bekkemoen, Anders Vonheim, Vegard Kjøs Egge and Erlend Rosseland Stokke for great assistance with data sampling.

## Author details

<sup>1</sup>The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology, Lillehammer University College, Lillehammer, Norway. <sup>2</sup>Lillehammer University College, Lillehammer, P.O.Box 952 N-2604, Norway.

## Authors' contributions

GV, BRR and SE contributed to conception and design, analysis and interpretation of data. SE drafted the paper and all authors contributed by revising it critically. All authors approved the final version to be published. The experiments were performed in the laboratory facility at Lillehammer University College.

## Competing interests

The authors have no professional relationship with companies or manufacturers who may benefit from the results of the present study. The authors' interpretation of the results does not constitute endorsement of the product. The study was partially funded by NutriMarine Life Science AS. In accordance with the authors' declared independency, NutriMarine Life Science AS was not at any point involved in study design, data sampling, data analysis or preparation of the written product.

Received: 3 November 2011 Accepted: 10 April 2012

Published: 10 April 2012

## References

1. Jeukendrup AE: Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 2004, **20**:669-677.
2. Van Essen M, Gibala MJ: Failure of Protein to Improve Time Trial Performance when Added to a Sports Drink. *Med Sci Sports Exerc* 2006, **38**:1476-1483.
3. Stearns RL, Emmanuel H, Volek JS, Casa DJ: Effects of Ingesting Protein in Combination With Carbohydrate During Exercise on Endurance Performance: A Systematic Review With Meta-Analysis. *J Strength Cond Res* 2010, **24**:2192-2202.
4. Ivy JL, Res PT, Sprague RC, Widzer MO: Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2003, **13**:382-395.

5. Osterberg KL, Zachwieja JJ, Smith JW: **Carbohydrate and carbohydrate + protein for cycling time-trial performance.** *J Sports Sci* 2008, **26**:227-233.
6. Breen L, Tipton KD, Jeukendrup AE: **No Effect of Carbohydrate-Protein on Cycling Performance and Indices of Recovery.** *Med Sci Sports Exerc* 2010, **42**:1140-1148.
7. Saunders MJ, Kane MD, Todd MK: **Effects of a Carbohydrate-Protein Beverage on Cycling Endurance and Muscle Damage.** *Med Sci Sports Exerc* 2004, **36**:1233-1238.
8. Toone RJ, Betts JA: **Isocaloric Carbohydrate Versus Carbohydrate-Protein Ingestion and Cycling Time-Trial Performance.** *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010, **20**:34-43.
9. Jeukendrup AE, Tipton KD, Gibala MJ: **Protein Plus Carbohydrate Does Not Enhance 60-km Time-Trial Performance.** *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009, **19**:335-337.
10. Saunders MJ, Moore RW, Kies AK, Luden ND, Pratt CA: **Carbohydrate and Protein Hydrolysate Coingestion's Improvement of Late-Exercise Time-Trial Performance.** *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009, **19**:136-149.
11. Saunders MJ: **Protein Plus Carbohydrate Does Not Enhance 60-km Time-Trial Performance Response.** *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009, **19**:337-339.
12. Davidsen PK, Gallagher IJ, Hartman JW, Tarnopolsky MA, Dela F, Helge JW, Timmons JA, Phillips SM: **High responders to resistance exercise training demonstrate differential regulation of skeletal muscle microRNA expression.** *J Appl Physiol* 2011, **110**:309-317.
13. Timmons JA: **Variability in training-induced skeletal muscle adaptation.** *J Appl Physiol* 2011, **110**:846-853.
14. Timmons JA, Knudsen S, Rankinen T, Koch LG, Sarzynski MA, Jensen T, Keller P, Scheele C, Vollaard NB, Nielsen S, et al: **Using molecular classification to predict gains in maximal aerobic capacity following endurance exercise training in humans.** *J Appl Physiol* 2010, **01295**:02009.
15. Manninen AH: **Protein hydrolysates in sports nutrition.** *Nutr Metabol* 2009, **6**:38.
16. Buckley JD, Thomson RL, Coates AM, Howe PRC, DeNichilo MO, Rowney MK: **Supplementation with a whey protein hydrolysate enhances recovery of muscle force-generating capacity following eccentric exercise.** *J Sci Med Sport/Sports Med Aust* 2010, **13**:178-181.
17. Beelen M, Tieland M, Gijzen AP, Vandereydt H, Kies AK, Kuipers H, Saris WHM, Koopman R, van Loon LJC: **Coingestion of Carbohydrate and Protein Hydrolysate Stimulates Muscle Protein Synthesis during Exercise in Young Men, with No Further Increase during Subsequent Overnight Recovery.** *J Nutr* 2008, **138**:2198-2204.
18. Boirie Y, Dangin M, Gachon P, Vasson M-P, Maubois J-L, Beaufrère B: **Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion.** *Proc Natl Acad Sci USA* 1997, **94**:14930-14935.
19. Liaset B, Madsen L, Hao Q, Criales G, Mellgren G, Marschall HU, Hallenborg P, Espe M, Froyland L, Kristiansen K: **Fish protein hydrolysate elevates plasma bile acids and reduces visceral adipose tissue mass in rats.** *Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids* 2009, **1791**:254-262.
20. Liaset B, Espe M: **Nutritional composition of soluble and insoluble fractions obtained by enzymatic hydrolysis of fish-raw materials.** *Process Biochem* 2008, **43**:42-48.
21. Hermansen L, Hultman E, Saltin B: **Muscle Glycogen during Prolonged Severe Exercise.** *Acta Physiol Scand* 1967, **71**:129-139.
22. Sherman W: **Metabolism of sugars and physical performance.** *Am J Clin Nutr* 1995, **62**:228S-241S.
23. Ronnestad BR, Hansen EA, Raastad T: **Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists.** *Eur J Appl Physiol* 2010, **108**:965-975.
24. Lukaski HC: **Vitamin and mineral status: Effects on physical performance.** *Nutrition* 2004, **20**:632-644.
25. Hansen E, Jensen K, Pedersen P: **Performance following prolonged sub-maximal cycling at optimal versus freely chosen pedal rate.** *Eur J Appl Physiol* 2006, **98**:227-233.
26. Ronnestad BR, Hansen EA, Raastad T: **Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling.** *Scand J Med Sci Sports* 2011, **21**:250-259.
27. Power O, Hallihan A, Jakeman P: **Human insulinotropic response to oral ingestion of native and hydrolysed whey protein.** *Amino Acids* 2009, **37**:333-339.
28. Manninen AH: **Hyperinsulinaemia, hyperaminoacidaemia and post-exercise muscle anabolism: the search for the optimal recovery drink.** *Br J Sports Med* 2006, **40**:900-905.
29. Foster C, Costill DL, Fink WJ: **Effects of preexercise feedings on endurance performance.** *Med Sci Sports Exerc* 1979, **11**(1&hyphen):5.

doi:10.1186/1550-2783-9-14

**Cite this article as:** Vegge et al: Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2012 **9**:14.

**Submit your next manuscript to BioMed Central and take full advantage of:**

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at  
www.biomedcentral.com/submit



## Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training

Ernst A. Hansen, Bent R. Rønnestad, Geir Vegge, and Truls Raastad

The authors tested whether heavy strength training, including hip-flexion exercise, would reduce the extent of the phase in the crank revolution where negative or retarding crank torque occurs. Negative torque normally occurs in the upstroke phase when the leg is lifted by flexing the hip. Eighteen well-trained cyclists either performed 12 wk of heavy strength training in addition to their usual endurance training (*E+S*;  $n = 10$ ) or merely continued their usual endurance training during the intervention period (*E*;  $n = 8$ ). The strength training consisted of 4 lower body exercises ( $3 \times 4$ – $10$  repetition maximum) performed twice a week. *E+S* enhanced cycling performance by 7%, which was more than in *E* ( $P = .02$ ). Performance was determined as average power output in a 5-min all-out trial performed subsequent to 185 min of submaximal cycling. The performance enhancement, which has been reported previously, was here shown to be accompanied by improved pedaling efficacy during the all-out cycling. Thus, *E+S* shortened the phase where negative crank torque occurs by  $\sim 16^\circ$ , corresponding to  $\sim 14\%$ , which was more than in *E* ( $P = .002$ ). In conclusion, adding heavy strength training to usual endurance training in well-trained cyclists improves pedaling efficacy during 5-min all-out cycling performed after 185 min of cycling.

**Keywords:** bicycling, endurance performance, pedaling technique, resistance training, weight training

In the sport of competitive cycling, there is an ongoing effort to develop training methods to further enhance performance. Recently, it has been reported that concurrent heavy strength training and endurance training in well-trained cyclists result in enhanced cycling performance.<sup>1-4</sup> Other research groups have previously failed to find a similar positive effect of strength training on performance in trained cyclists.<sup>5,6</sup> In one of our previous articles, cycling performance was determined as the power output in a 5-minute all-out trial performed subsequent to 185 minutes of submaximal cycling.<sup>3</sup> Despite the fact that our previous publications have not pointed out a particular reason for the enhanced performance, we have discussed that it may be a result of the specific strength-training exercises performed. Thus, the 1-leg hip-flexion exercise performed in this study, but not in previous studies, may somehow have made a difference and contributed to the enhanced performance. For example, it is possible that strengthened hip-flexor muscle-tendon systems would allow cyclists to more effectively lift the mass of the leg during the recovery or

upstroke phase. This may reduce the extent of the phase in the crank revolution in which negative or retarding crank torque occurs: the current study investigates this. The upstroke phase is when the leg is lifted by flexing the hip and the crank turns between angles of  $180^\circ$  and  $360^\circ$ . For definition, crank angles of  $0^\circ$  and  $360^\circ$  represent the top dead center of the crank revolution.

In support of the importance of the upstroke phase during pedaling, it has been reported that competitive cyclists during a ride to exhaustion at 80% of their maximal aerobic power output gradually produced more negative or retarding pedal force in this particular phase of the crank revolution. This increased the demand for forces during the propulsive or downstroke phase and, overall, caused the cyclists' pedaling to become less effective.<sup>7</sup>

To evaluate changes in pedaling efficacy, the crank torque was measured in both a prolonged cycling bout and in the subsequent all-out trial in the previously mentioned study, from which we have already reported some data.<sup>3</sup> These crank-torque data analyses can consequently be regarded as a part of a larger investigation in which effects of heavy strength training on cycling performance were examined. To our knowledge, the current report is the first to describe the influence of heavy strength training on pedaling efficacy.

The purpose of the current study was to investigate whether enhanced cycling performance after strength training was accompanied by an improved pattern of crank-torque application, reflecting improved pedaling

---

Hansen is with the Dept of Health Science and Technology, Aalborg University, Aalborg, Denmark. Rønnestad and Vegge are with the Dept. of Sports Science, Lillehammer University College, Lillehammer, Norway. Raastad is with the Dept of Physical Performance, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo, Norway.

efficacy. Specifically, we tested the hypothesis that heavy strength training, including hip-flexion exercise, would reduce the extent of the phase in the crank revolution where negative or retarding crank torque occurs. This phase constitutes a part of the upstroke phase where the leg is lifted by flexing the hip.

## Materials and Methods

### Participants

Twenty well-trained cyclists, competing at the Norwegian national level, volunteered to participate in the study. Written informed consent was obtained from the participants, none of whom had performed any strength training during the preceding 6 months. The study conformed to the standards set by the Declaration of Helsinki, and the procedures were approved by the regional committee of Southeast Norway of the National Committees for Research Ethics in Norway. Due to technical problems, data from 2 of the participants were lost. Data from 18 participants are therefore reported here.

Participants were divided into a test group and a control group. The participants in the test group (*E+S*;  $n = 10$  [10 men], age  $27 \pm 7$  y, height  $1.83 \pm 0.07$  cm, body mass  $76.8 \pm 9.0$  kg) performed 12 weeks of heavy strength training in addition to their usual endurance training. The participants in the control group (*E*;  $n = 8$  [6 men, 2 women], age  $30 \pm 7$  y, height  $1.81 \pm 0.08$  m, body mass  $75.8 \pm 8.9$  kg) merely continued their usual endurance training during the intervention period. The intervention was carried out during the preparation period for the competition season.

### Training

The endurance training was planned and completed by the participants without any interference from the researchers. It primarily consisted of cycling, but some cross-country skiing was also performed by some participants (a maximum of 10% of the total training duration). Duration and intensity of the endurance training were determined from Polar heart-rate monitor (Electro Oy, Kempele, Finland) recordings. Thus, the performed endurance training was divided into 5 heart-rate zones: (1) 60% to 72%, (2) 73% to 82%, (3) 83% to 87%, (4) 88% to 92%, and (5) 93% to 100% of maximal heart rate. A detailed overview of the endurance training distributed in these 5 heart-rate zones is presented in Table 1 in a previous publication.<sup>1</sup> Briefly, the total duration of the training ( $\sim 12$  h/wk) and the distribution of this training within the 5 heart-rate zones were similar for *E+S* and *E*. Training in zone 1 constituted  $\sim 6.7$  h/wk, while  $\sim 2.2$  and  $1.0$  h/wk was performed in zones 2 and 3, respectively. No significant difference between the 2 groups was observed when comparing total training duration throughout the 12-week study period, including the heavy strength training, as well as core-stability training and stretching

( $151 \pm 13$  h and  $138 \pm 13$  h, respectively;  $P = .47$ ). The latter was apparently due to a slightly, though statistically nonsignificantly, longer endurance-training duration in *E*.

Heavy strength training performed by participants in *E+S* was carried out twice a week and primarily targeted the leg muscles. Adherence was high, with participants completing  $97\% \pm 1\%$  of the prescribed training. The training has previously been described in detail.<sup>1-3</sup> Briefly, the heavy strength training was systematically performed first on days when both strength training and endurance training were carried out. The intention of the training was to improve cycling performance, so primarily unilateral exercises were applied targeting lower limb muscles associated with cycling. Peak positive pedal force during pedaling occurs at a knee angle of approximately  $90^\circ$ ,<sup>8</sup> and exercises were therefore performed with a knee angle between  $90^\circ$  and almost-full knee extension. In addition, since cyclists use legs alternately during cycling, 1-leg exercises were chosen whenever it was practical. The heavy strength training was carried out with focus on maximal intended acceleration in the concentric phase (lasting around 1 s), while the eccentric phase was performed more slowly (lasting around 2–3 s). At the start of each strength-training session, participants performed an  $\sim 10$ -minute warm-up at self-selected intensity on a cycle ergometer. This was followed by 2 or 3 warm-up sets of half-squat with gradually increased load. The strength-training exercises performed thereafter were half-squat, leg press with 1 leg at a time, hip flexion with 1 leg at a time, and ankle plantar flexion. Photos of the exercises have been published elsewhere.<sup>2</sup> All participants were carefully supervised by 1 of the researchers during all workouts for the first 2 weeks and thereafter at least once every second week throughout the rest of the intervention period. During the first 3 weeks, cyclists trained with 10-repetition-maximum (RM) sets (ie, with 10 repetitions in each set) at the first weekly session and 6RM sets at the second weekly session. During the following 3 weeks, the loads in the sets were adjusted to 8RM and 5RM for the first and second weekly sessions, respectively. Finally, during the last 6 weeks, the loads in the sets were adjusted to 6RM and 4RM, respectively. Assistance during the last repetition was allowed. During every training session, 3 sets of each training exercise were performed.

### Testing

Testing was completed before and after the intervention period in a number of sessions carried out on separate days as follows: (1) measurement of maximal strength, (2) measurement of maximal oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), and (3) prolonged cycling followed by a 5-minute all-out trial. To maximize the possibility of detecting the systematic effects of the intervention, great care was taken to replicate the testing protocol from the preintervention testing during the postintervention testing. Thus, the preparations for the tests, the conditions during the tests, and the order of tests were the same. Furthermore,

the tests were performed at the same time of day to avoid circadian influence.

Maximal leg-extensor muscle strength was determined as 1RM loading during a unilateral leg-press maneuver using the dominant leg. Before the pretest, 2 familiarization sessions were conducted with the purpose of instructing the cyclists in the proper technique and testing procedure. Strength tests were always preceded by a 10-minute warm-up bout on a cycle ergometer. After warm-up, the cyclists performed a standardized protocol consisting of 3 sets with a gradually increasing load (40%, 75%, and 85% of predicted 1RM) and a decreasing number of repetitions (10, 7, and 3). The first 1RM attempt was performed with a load approximately 5% below the predicted 1RM load. After each successful attempt, the load was increased by 2%–5% until the cyclist failed to lift the same load after 2 or 3 consecutive attempts. The rest period between attempts was 3 minutes. The preintervention and postintervention tests were conducted using the same equipment with identical positioning of the cyclist relative to the equipment and monitored by the same experienced investigator. The postintervention test for strength was conducted 3 to 5 days after the last strength-training session. Maximal strength in hip-flexor muscles was not measured directly. Instead, progress in the hip-flexion exercise was determined indirectly by comparing the training load at 6RM in the first and the last week of the training period.

All cycling tests were performed on the same Lode Excalibur Sport electromagnetically braked cycle ergometer (Lode BV, Groningen, The Netherlands), which was adjusted according to each cyclist's preferences for seat height, distance between seat and handlebars, and horizontal distance between vertical lines through the tip of the seat and the bottom bracket. Individual settings of the cycle ergometer were noted at the pretest, and the exact same settings were used at the posttest. The cyclists were allowed to choose their preferred cadence during all cycling tests, and they used their own cycling shoes and pedals.

$\text{VO}_{2\text{max}}$  was measured in an incremental cycle-ergometer test that was initiated with 1 minute of cycling at a power output corresponding to 3 W/kg (rounded down to the nearest 50 W). The power output was then increased by 25 W every 1 minute until exhaustion. When the cyclists indicated that they were not able to manage another 25-W increase in power output, they were encouraged to simply continue cycling at the current power output as long as possible (usually for 30–90 s). They were verbally encouraged to continue as long as possible. Oxygen uptake and respiratory-exchange ratio were measured (30-s sampling times) using a computerized metabolic system with a mixing chamber (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany). The gas analyzers were calibrated against certified calibration gases of known concentrations before every test. The flow turbine (Triple V, Erich Jaeger) was calibrated before every test with a 3-L, 5530 series calibration syringe (Hans Rudolph,

Kansas City, MO).  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , along with the complementary data, was calculated as the average of the 2 highest  $\text{VO}_2$  measurements. Heart rate was measured using a Polar heart-rate monitor (Electro Oy, Kempele, Finland). The criteria used to ensure that  $\text{VO}_{2\text{max}}$  values were reached were blood lactate concentrations  $>8$  mmol/L during the first 2 minutes of recovery (Lactate Pro LT-1710, Arcray Inc., Kyoto, Japan), respiratory-exchange ratio at test termination  $>1.05$ , and rating of perceived exertion  $\geq 18$  using Borg's scale of 6 to 20. Average values across the 2 groups on these criterion variables at the pretest were  $12.5 \pm 2.4$ ,  $1.08 \pm 0.03$ , and  $19.0 \pm 0.5$  mmol/L, respectively. At the posttest, the values were  $13.3 \pm 1.9$ ,  $1.08 \pm 0.03$ , and  $19.1 \pm 0.6$  mmol/L, respectively. No differences were observed between the 2 groups.  $W_{\text{max}}$  was calculated at baseline as the average power output during the last 2 minutes of the incremental test. This  $W_{\text{max}}$  was used to calculate the submaximal power output applied during the prolonged cycling.

Prolonged cycling was performed as 185 minutes of cycling at 44% of  $W_{\text{max}}$  and followed by a 5-minute all-out trial.  $W_{\text{max}}$  determined in the incremental test at preintervention amounted to  $409 \pm 32$  W in *E+S* and  $407 \pm 76$  W in *E*. The average power outputs during the prolonged cycling were consequently preset to  $180 \pm 14$  W and  $179 \pm 34$  W in *E+S* and *E*, respectively, in the preintervention and postintervention tests. The apparently modest power output was chosen based on previous research showing that competitive road cyclists spend nearly half of racing time riding at a power output of  $<150$  W.<sup>9</sup> During the prolonged cycling, the ergometer was in a cadence-independent or constant-Watt-production mode so that the preset power output was not affected by the cyclists' choice of cadence. During the first 10 min, the cyclists were required to maintain a cadence of 60 rpm. During the rest of the prolonged cycling, they could freely choose a cadence. Cyclists were allowed to occasionally stand in the pedals during the latter part of the prolonged cycling, but not during the final 5-minute all-out trial. During the prolonged cycling, the cyclists were allowed to consume a sport drink containing 75 g/L of carbohydrates, ad libitum, to maintain fluid balance and mimic race conditions. In addition, subjects were cooled with an air fan.  $\text{VO}_2$ , respiratory-exchange ratio, heart rate, cadence, rating of perceived exertion, and blood lactate concentration were determined during 5-minute periods every half-hour throughout the prolonged cycling. These results have been reported together with details on measurement methods.<sup>3</sup>

Cycling performance was determined in a 5-minute all-out trial performed 2 minutes after termination of the 185 minutes of prolonged cycling. In line with an earlier study,<sup>10</sup> the 5-minute all-out trial was chosen as a functional measure of the capacity to perform very intensive cycling, such as is required during a breakaway attempt, crosswind cycling, or steep uphill cycling, all of which may be decisive situations in a road race. For the 5-minute all-out trial, the ergometer was switched to

the cadence-dependent mode, in which the power output increases with increasing cadence according to the following equation:  $W = L \times \text{rpm}^2$ , where  $W$  is the power output,  $\text{rpm}$  is the cadence, and the constant,  $L$ , was set to 0.044.  $L$  determines the electronic gearing of the system. Based on results from a previous study,<sup>10</sup> average power output during the 5-minute all-out trial was predicted to be 360 to 400 W. Because the preferred cadence for many cyclists at this intensity is around 90 to 95 rpm,  $L$  was set to 0.044. As an example, a constant cadence of 93 rpm would result in an average power output of 381 W during the 5-minute all-out trial. All cyclists were encouraged to produce as high an average power output as possible during the 5-minute all-out trial. They received feedback regarding power output and time elapsed, but not heart rate and cadence.

Crank torque was calculated continuously by the Lode ergometer software during both prolonged cycling and the all-out trial. Thus, for each participant, effective crank-torque values for left and right crank separately, at every second crank-angle degree, in every single crank revolution, were sampled. To reduce this large amount of data, average values across certain cycling periods (see Results) were calculated from the following 3 selected crank-torque-curve characteristics: peak positive or propulsive crank torque,  $T_{\text{pos}}$ ; peak negative or retarding crank torque,  $T_{\text{neg}}$ ; and phase of the crank cycle with negative crank torque,  $P_{\text{neg}}$  (Figure 1).

### Statistical Analysis

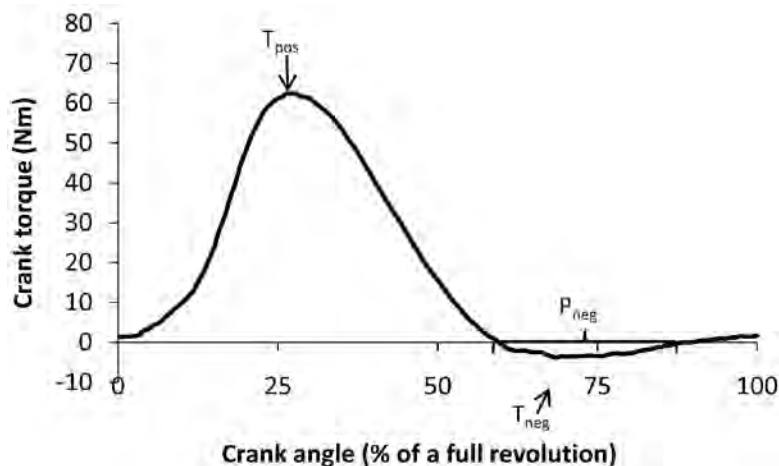
Pearson product-moment correlation coefficients ( $R^2$ ), linear regression, and paired-samples and 2-sample  $t$  tests were used wherever it was appropriate. Statistics were calculated in Excel 2010 (Microsoft Corp, WA). Data are presented as mean  $\pm$  SD unless otherwise indicated. Statistical significance was set at  $P < .05$ .

## Results

The maximal strength in the leg-extensor muscles in  $E+S$ , reflected by 1RM in leg press with the dominant leg, was  $142 \pm 34$  kg at preintervention and  $175 \pm 39$  kg at postintervention ( $P < .001$ ). For comparison, the maximal strength in  $E$  was  $139 \pm 50$  kg at preintervention and  $128 \pm 51$  kg at postintervention ( $P = .03$ ). The size of change was larger in  $E+S$  than in  $E$  ( $P < .001$ ). The load applied by  $E+S$  in the 6RM hip-flexion training exercise, reflecting the strength of the hip-flexor muscles, increased  $54\% \pm 34\%$ , from  $56 \pm 28$  kg in week 1 to  $83 \pm 34$  kg in week 12 ( $P < .001$ ).

During the prolonged submaximal cycling, the cadence remained similar across the period ranging from the 10th to the 185th minute in both  $E+S$  and  $E$  and amounted to  $79 \pm 7$  rpm at preintervention and  $79 \pm 6$  rpm at postintervention in  $E+S$ . For comparison, the cadences in  $E$  at preintervention and postintervention were  $81 \pm 9$  and  $80 \pm 9$  rpm, respectively. There were no statistically significant differences between the 2 groups regarding the changes from preintervention to postintervention in the selected crank-torque characteristics (Table 1).

During the 5-minute all-out trial, the power output in  $E+S$  was  $372 \pm 27$  W at preintervention and  $399 \pm 38$  W at postintervention ( $P = .007$ ). For comparison, the power output in  $E$  remained similar throughout the study period:  $385 \pm 68$  W and  $380 \pm 68$  W, respectively ( $P = .63$ ). The increase was larger in  $E+S$  than in  $E$  ( $P = .02$ ). The cadence during this cycling performance test was  $93 \pm 4$  rpm at preintervention and  $95 \pm 4$  rpm at postintervention in  $E+S$ . In  $E$ , the cadence was  $93 \pm 8$  rpm at both measurements. The results of the analysis of crank torque during the 5-minute all-out trial are presented in Tables 1 and 2. In brief, peak positive crank torque ( $T_{\text{pos}}$ ) increased more from preintervention to postintervention



**Figure 1** — Crank-torque curve with selected characteristics. This data example from one of the cyclists represents a single random crank-arm (right) revolution during one of the 5-min all-out trials. The following selected characteristics are indicated on the curve:  $T_{\text{pos}}$ , peak positive crank torque;  $T_{\text{neg}}$ , peak negative crank torque;  $P_{\text{neg}}$ , phase with negative crank torque.

**Table 1 Selected Crank Torque Characteristics During the Initial 185 min of Submaximal Cycling and the Subsequent 5-min All-Out Cycling Trial, Mean  $\pm$  SD**

	From 5th to 10th min during submaximal cycling at 60 rpm			From 10th to 185th min during submaximal cycling at freely chosen cadence			During 5-min all-out trial		
	T <sub>pos</sub> , Nm	T <sub>neg</sub> , Nm	P <sub>neg</sub> , °	T <sub>pos</sub> , Nm	T <sub>neg</sub> , Nm	P <sub>neg</sub> , °	T <sub>pos</sub> , Nm	T <sub>neg</sub> , Nm	P <sub>neg</sub> , °
<i>E+S</i> (n = 10)									
pre	56 $\pm$ 6	-8 $\pm$ 2	146 $\pm$ 15	53 $\pm$ 6	-12 $\pm$ 2	161 $\pm$ 4	71 $\pm$ 5	-8 $\pm$ 3	117 $\pm$ 19
post	57 $\pm$ 6	-7 $\pm$ 2	138 $\pm$ 26	53 $\pm$ 6	-12 $\pm$ 2	158 $\pm$ 6	73 $\pm$ 5	-7 $\pm$ 3	101 $\pm$ 22
$\Delta$	1 $\pm$ 2	0 $\pm$ 1	-8 $\pm$ 18	0 $\pm$ 3	0 $\pm$ 1	-3 $\pm$ 5	2 $\pm$ 2*	1 $\pm$ 2	-16 $\pm$ 11**
<i>E</i> (n = 8)									
pre	56 $\pm$ 8	-9 $\pm$ 1	147 $\pm$ 16	53 $\pm$ 9	-13 $\pm$ 2	158 $\pm$ 5	75 $\pm$ 8	-8 $\pm$ 5	109 $\pm$ 13
post	57 $\pm$ 7	-8 $\pm$ 2	148 $\pm$ 15	54 $\pm$ 8	-12 $\pm$ 2	158 $\pm$ 6	73 $\pm$ 7	-8 $\pm$ 4	111 $\pm$ 10
$\Delta$	1 $\pm$ 2	0 $\pm$ 1	1 $\pm$ 7	1 $\pm$ 2	1 $\pm$ 2	0 $\pm$ 3	-1 $\pm$ 2	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 6

Abbreviations: T<sub>pos</sub>, peak positive crank torque; T<sub>neg</sub>, peak negative crank torque; P<sub>neg</sub>, phase with negative crank torque; *E+S*, cyclists performing heavy strength training in addition to their usual endurance training; *E*, cyclists performing their usual endurance training.

\*\*Significantly different from *E* ( $P = .002$ ). \*Significantly different from *E* ( $P = .007$ ).

in *E+S* than in *E* ( $P = .007$ ). Still, the increase from pre-intervention to postintervention in *E+S* was modest ( $\sim 2$  Nm, corresponding to  $\sim 3\%$ ). Furthermore, the phase with negative crank torque (P<sub>neg</sub>) was shortened more from preintervention to postintervention in *E+S* than in *E* ( $P = .002$ ; Table 1). Peak negative crank torque (T<sub>neg</sub>) was unchanged in both groups. Similar results for T<sub>pos</sub>, T<sub>neg</sub>, and P<sub>neg</sub> were obtained by an alternative type of analysis with correlation and regression (Figure 2, Table 2). In Table 2, these crank-torque-characteristic variables are represented by *a* values from the linear-regression equations. Furthermore, the differences between *E+S* and *E* in the changes of these groups from preintervention to postintervention were similar to the results from the analysis where T<sub>pos</sub>, T<sub>neg</sub>, and P<sub>neg</sub> values were calculated as averages across the trial (Table 1).

Body mass in both *E+S* and *E* remained unchanged from preintervention to postintervention. VO<sub>2max</sub> in *E+S* was 5118  $\pm$  538 mL/min at preintervention and 5361  $\pm$  683 mL/min at postintervention. For comparison, VO<sub>2max</sub> in *E* was 4986  $\pm$  967 mL/min at preintervention and 5196  $\pm$  977 mL/min at postintervention. The amount of change in values from preintervention to postintervention was not different between the 2 groups.

## Discussion

The most notable finding of the current study was that heavy strength training caused well-trained cyclists to improve their pedaling efficacy and concomitantly enhance their performance during all-out cycling. The strength training was performed throughout 12 weeks and included hip-flexion exercise. Improved pedaling efficacy was reflected by a reduction of the phase with negative

or retarding crank torque (P<sub>neg</sub>) that occurs during the upstroke part of the crank revolution. Performance was determined as average power output during a 5-minute all-out trial performed subsequent to 185 minutes of submaximal cycling.

Recently, possible adaptive mechanisms accounting for enhanced endurance performance subsequent to strength training were reviewed.<sup>11</sup> Among the proposed mechanisms were improved neural function and increased tendon stiffness, which both have the potential to increase the rate of force development. An increased rate of force development of the hip-flexor muscles, perhaps especially the iliopsoas muscles, obviously has the potential to contribute to the observed improvement of pedaling efficacy. Other researchers have reported that the iliopsoas muscle is an important contributor during pedaling.<sup>12</sup> The rectus femoris muscle, which crosses the hip joint like the iliopsoas muscle, but in addition crosses the knee joint, is considered a top transition-extensor muscle, where "top" refers to the top dead center of the crank revolution.<sup>13</sup> Increased rate of force development in the hip-flexor muscles would reduce the time from muscle activation to production of a force of sufficient magnitude to flex the hip, lift the leg mass against gravity, and eventually relieve the pedal from the mass of the leg. Related to this is the electromechanical delay, which is the delay between the onset of electrical activity and measurable force. This delay is suggested to be associated with the time required to stretch the muscle's series elastic component. It has been reported that isometric knee-extension training at 70% of maximal voluntary contraction reduced electromechanical delay by 18%.<sup>14</sup> If the electromechanical delay is, for example, 100 milliseconds,<sup>15,16</sup> it corresponds to 57° of crank revolution during

**Table 2 Variables in the Linear-Regression Equation and R<sup>2</sup>, Mean ± SD**

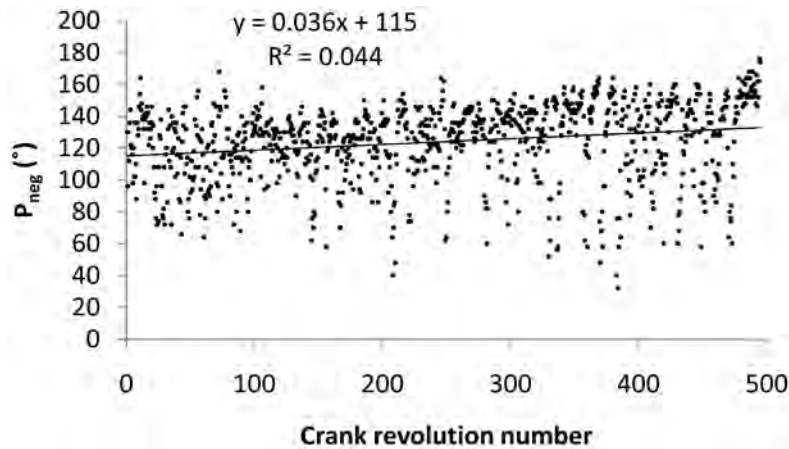
	T <sub>pos</sub> , Nm			T <sub>neg</sub> , Nm			P <sub>neg</sub> , °		
	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>	b	a	R <sup>2</sup>
<i>E+S</i> (n = 10)									
pre	.005 ± .017	70 ± 4	.100 ± .144	-.004 ± .004	-7 ± 3	.076 ± .079	.012 ± .064	114 ± 26	.074 ± .071
post	-.005 ± .008	75 ± 5	.047 ± .061	-.006 ± .005	-6 ± 2	.128 ± .162	.015 ± .059	97 ± 28	.061 ± .059
Δ	-.011 ± .017	5 ± 4*		-.002 ± .004	1 ± 2		.004 ± .027	-17 ± 11***	
<i>E</i> (n = 8)									
pre	.001 ± .015	74 ± 8	.074 ± .091	-.004 ± .005	-8 ± 4	.139 ± .116	.005 ± .060	108 ± 20	.098 ± .070
post	.000 ± .014	73 ± 5	.075 ± .075	-.002 ± .004	-7 ± 4	.130 ± .111	.000 ± .067	111 ± 17	.114 ± .095
Δ	-.001 ± .011	-1 ± 4		.002 ± .003	0 ± 1		-.006 ± .050	3 ± 14	

Abbreviations: T<sub>pos</sub>, peak positive crank torque; T<sub>neg</sub>, peak negative crank torque; P<sub>neg</sub>, phase with negative crank torque; *E+S*, cyclists performing heavy strength training in addition to their usual endurance training; *E*, cyclists performing their usual endurance training.

Note: *b* and *a* in  $y = bx + a$ . The linear regressions were performed on the crank-torque characteristics of T<sub>pos</sub>, T<sub>neg</sub>, and P<sub>neg</sub> (y) plotted as a function of crank-revolution number (x) during the 5-min all-out cycling trial that was performed subsequent to 185 min of submaximal cycling. The reader is referred to Figure 2 for an example of data analysis.

\*Significantly different from *E* ( $P = .01$ ). \*\*Significantly different from *E* ( $P = .006$ ).





**Figure 2** — Phase with negative crank torque,  $P_{\text{neg}}$ , as a function of crank-revolution number in a 5-min all-out trial. This data example is from a representative cyclist performing the cycling performance trial at postintervention. The regression equation, of the form  $y = bx + a$ , includes  $b$  that represents the slope and reflects the development over time. It also includes  $a$ , which represents the  $y$  intercept and reflects the  $P_{\text{neg}}$  value at the beginning of the trial.

pedaling at 95 rpm. Furthermore, an 18% reduction of the delay corresponds to  $10^\circ$ , which can be compared with the reduction of  $16^\circ$  of the phase with negative crank torque observed in the current study. It is also possible that the strength training improved muscle-activation timing. Future studies applying electromyography to measure muscle activation could elucidate this. It could also be argued that the hip-flexor muscles became more fatigue-resistant after the strength training. However, if this occurred and affected performance, it would perhaps be expected that the phase with negative crank torque would increase less as a function of time during the 5-minute all-out trial after strength training. This should have been reflected by reduced slopes in the regression equations ( $b$  values). However, results from the regression analyses did not support this (Table 2). In addition, on a group level, neither preintervention nor postintervention  $b$  values were significantly different from zero. The observation of slightly increased peak positive crank torque during the postintervention 5-min all-out trial in the strength-trained cyclists is a predictable consequence when the produced power output is increased.<sup>17</sup>

Negative crank torque in the upstroke phase is overcome by additional positive crank torque in the downstroke phase during cycling at a given power output. Intuitively, the phase with negative crank torque should thus not be too long. A reduction of the phase with negative torque decreases the demand on the leg-extensor muscles, which are active in the downstroke. Such a reduction may be considered a performance improvement.<sup>17</sup> Still, it is not necessarily ideal that the negative crank torque be completely eliminated. And even trained cyclists with years of training experience produce negative crank torque.<sup>18</sup> The reason could be that some phase with limited activity in the hip-flexor muscles, which may result in negative crank torque

during the upstroke, might be beneficial, in particular if these muscles are prone to be overloaded and fatigued and perhaps are even limiting performance. Furthermore, having well-timed phases with limited hip-flexor muscle activity in the top and bottom transition phases between upstroke and downstroke limits the likeliness of eccentric contraction in the hip-flexor muscles. In connection with this, it is worth noting that no statistically significant training-induced reduction of the phase with negative or retarding crank torque was detected during submaximal cycling in the current study. These results differed from data for the final 5-min all-out trial, which should be further examined in future research.

The effect of the strength training depends on a number of variables being directly associated with the performed training. Examples are the load, the number of repetitions, and the exercises, as well as the muscles involved. Other examples are the duration of the training period, the number of sets in each training session, and the order in which strength- and endurance-training sessions are performed during a day. Consequently, there is an almost infinite number of ways to design strength-training programs for endurance athletes. This also makes it challenging to compare training adaptations between different studies and interpret the results. Nevertheless, an interpretation of the current results might be that hip-flexion exercise in particular plays a key role in improving pedaling efficacy and performance during intensive cycling. Thus, it is possible that strengthened hip-flexor muscle-tendon systems allow cyclists to lift the leg mass in a more effective way during the upstroke phase and thereby reduce the extent of the phase of the crank revolution in which negative or retarding crank torque occurs. The absence of specific hip-flexion exercise in previous longitudinal intervention studies performed in trained cyclists might contribute to explain why at least some

of these studies were not able to observe any increase in endurance-cycling performance.<sup>5,6</sup>

An interesting thought is that time-consuming strength training could be bypassed by specific pedaling technique training or simply by increased focus on more effective pedaling during cycling in the effort to improve performance. In support of this, a positive relationship between effective force application and cycling economy has been reported in a cross-sectional study involving cyclists and triathletes.<sup>18</sup> However, it has also been reported from intervention studies that imposed pull in the upstroke phase results in decreased gross efficiency<sup>19</sup> and net mechanical efficiency.<sup>20</sup> It thus appears that at present the most obvious way for well-trained cyclists to improve pedaling efficacy and performance during intensive cycling is through heavy strength training that includes hip-flexor exercise.

Pedaling efficacy was not significantly improved during submaximal cycling for the cyclists in *E+S* in the current study, which was unlike what was observed during the 5-minute all-out trial. However, at the same time, the strength-training intervention actually led to a greater reduction in  $\text{VO}_2$  than endurance training alone during the last hour of the 185-minute submaximal cycling bout.<sup>3</sup> The latter reflects improved cycling economy. This is yet another example, in addition to those already cited,<sup>19,20</sup> that there is not necessarily a clear association between improvement of cycling economy and improvement of pedaling efficacy.

In the current study, cadence was stable across time during the prolonged submaximal cycling bout in the pretest and, furthermore, remained unaffected by the strength-training intervention. Previously, it has been reported that cadence decreased throughout 2 hours of submaximal cycling before a 5-week strength-training period.<sup>21</sup> After the strength-training intervention, cadence decreased in the first hour of submaximal cycling with no further decrease in the subsequent hour. The disparate results of training may arise from different athletes analyzed, since Hausswirth et al examined well-trained triathletes while the current study examined well-trained cyclists who hypothetically may demonstrate a greater fatigue resistance to prolonged cycling than triathletes.

Rather than randomly distributing participants to the 2 different groups in the current study, the participants could choose whether they would be in *E+S* or *E*. The reason is that it is difficult to gather enough well-trained competitive cyclists who are willing to be allocated randomly to extensive participation in 3 months of strength training or control testing. Still, it could be argued that in a study of this type the limitation of not randomizing the participants to the experimental groups is outweighed by having a sufficient number of participants and high adherence.

The applied perspective of the current study is that trained cyclists apparently can improve their pedaling efficacy and concomitantly their all-out cycling performance by performing concurrent endurance and strength training that involves hip-flexion exercises and heavy

loads. To the best of our knowledge, this is the first study to investigate the effect of heavy strength training on pedaling efficacy in trained cyclists.

In conclusion, 12 weeks of heavy strength training including hip-flexion exercise enhanced well-trained cyclists' performance. Performance was determined as average power output in a 5-minute all-out trial performed subsequent to 185 minutes of submaximal cycling. A 7% performance enhancement during the 5-minute all-out cycling trial was accompanied by improved pedaling efficacy. Thus, the particular phase in the upstroke phase of the crank revolution where negative or retarding crank torque occurs ( $P_{\text{neg}}$ ) was shortened by  $\sim 16^\circ$ , corresponding to  $\sim 14\%$ . In addition, the strength-trained cyclists increased their peak positive or propulsive crank torque ( $T_{\text{pos}}$ ) by  $\sim 3\%$ .

## Acknowledgments

The authors would like to thank the participants for their time and effort.

## References

1. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108:965–975. [PubMed](#) doi:10.1007/s00421-009-1307-z
2. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110:1269–1282. [PubMed](#) doi:10.1007/s00421-010-1622-4
3. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21:250–259. [PubMed](#) doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x
4. Aagaard P, Andersen JL, Bennekou M, et al. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21(6):e298–e307. [PubMed](#) doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x
5. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31:886–891. [PubMed](#) doi:10.1097/00005768-199906000-00018
6. Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2001;86:79–84. [PubMed](#) doi:10.1007/s004210100507
7. Sanderson DJ, Black A. The effect of prolonged cycling on pedal forces. *J Sports Sci*. 2003;21:191–199. [PubMed](#) doi:10.1080/0264041031000071010
8. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, et al. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:93–107. [PubMed](#)

9. Broker JP. Cycling biomechanics: road and mountain. In: Burke ER, ed. *High-Tech Cycling*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003:119–146.
10. Hansen EA, Jensen K, Pedersen PK. Performance following prolonged sub-maximal cycling at optimal versus freely chosen pedal rate. *Eur J Appl Physiol*. 2006;98:227–233. [PubMed doi:10.1007/s00421-006-0266-x](#)
11. Aagaard P, Andersen JL. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(Suppl 2):39–47. [PubMed doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01197.x](#)
12. Gondoh Y, Tashiro M, Itoh M, et al. Evaluation of individual skeletal muscle activity by glucose uptake during pedaling exercise at different workloads using positron emission tomography. *J Appl Physiol*. 2009;107:599–604. [PubMed doi:10.1152/jappphysiol.90821.2008](#)
13. Neptune RR, Kautz SA, Hull ML. The effect of pedaling rate on coordination in cycling. *J Biomech*. 1997;30:1051–1058. [PubMed doi:10.1016/S0021-9290\(97\)00071-7](#)
14. Kubo K, Kanehisa H, Ito M, Fukunaga T. Effects of isometric training on the elasticity of human tendon structures in vivo. *J Appl Physiol*. 2001;91:26–32. [PubMed](#)
15. Vos EJ, Harlaar J, van Ingen Schenau GJ. Electromechanical delay during knee extensor contractions. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:1187–1193. [PubMed](#)
16. Li L, Baum BS. Electromechanical delay estimated by using electromyography during cycling at different pedaling frequencies. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14:647–652. [PubMed doi:10.1016/j.jelekin.2004.04.004](#)
17. Kautz SA, Feltner ME, Coyle EF, Baylor AM. The pedaling technique of elite endurance cyclists: changes with increasing workload at constant cadence. *Int J Sport Biomech*. 1991;7:29–53.
18. Candotti CT, Ribeiro J, Soares DP, De Oliveira AR, Loss JF, Guimarães ACS. Effective force and economy of triathletes and cyclists. *Sports Biomech*. 2007;6:31–43. [PubMed doi:10.1080/14763140601058490](#)
19. Korff T, Romer LM, Mayhew I, Martin JC. Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:991–995. [PubMed doi:10.1249/mss.0b013e318043a235](#)
20. Mornieux G, Stapelfeldt B, Gollhofer A, Belli A. Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *Int J Sports Med*. 2008;29:817–822. [PubMed doi:10.1055/s-2008-1038374](#)
21. Hausswirth C, Argentin S, Bieuzen F, Le Meur Y, Couturier A, Brisswalter J. Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *J Electromyogr Kinesiol*. 2010;20:330–339. [PubMed doi:10.1016/j.jelekin.2009.04.008](#)

# Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction

S. Ellefsen<sup>1,\*</sup>, O. Vikmoen<sup>1,\*</sup>, E. Zacharoff<sup>1,\*</sup>, I. Rauk<sup>2,\*</sup>, G. Slettaløkken<sup>1,\*</sup>, D. Hammarström<sup>1,\*</sup>, T. A. Strand<sup>2,\*</sup>, J. E. Whist<sup>2,\*</sup>, M. Hanestadhaugen<sup>2,\*</sup>, G. Vegge<sup>1,\*</sup>, C. E. Fagernes<sup>1,\*</sup>, H. Nygaard<sup>1,\*</sup>, I. Hollan<sup>3,\*</sup>, B. R. Rønnestad<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Lillehammer University College, Lillehammer, Norway, <sup>2</sup>Innlandet Hospital Trust, Lillehammer, Norway, <sup>3</sup>Hospital for Rheumatic Diseases, Lillehammer, Norway

Corresponding author: Stian Ellefsen, PhD, Lillehammer University College, PO Box 952, N-2604 Lillehammer, Norway. Tel: +47 61 28 80 00, Fax: +47 61 28 81 70, E-mail: stian.ellefsen@hil.no

Accepted for publication 6 January 2014

Determination of muscle fiber composition in human skeletal muscle biopsies is often performed using immunohistochemistry, a method that tends to be both time consuming, technically challenging, and complicated by limited availability of tissue. Here, we introduce quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction (qRT-PCR)-based Gene-family profiling (GeneFam) of myosin heavy chain (MyHC) mRNA expression as a high-throughput, sensitive, and reliable alternative. We show that GeneFam and immunohistochemistry result in similar disclosures of alterations in muscle fiber composition in biopsies from *musculus vastus lateralis* and *musculus biceps brachii* of previously untrained young women after 12 weeks of progressive strength training. The adaptations were evident as (a) con-

sistent increases in MyHC2A abundance; (b) consistent decreases in MyHC2X abundance; and (c) consistently stable MyHC1 abundance, and were not found using traditional reference gene-based qRT-PCR analyses. Furthermore, muscle fiber composition found using each of the two approaches was correlated with each other ( $r = 0.50, 0.74,$  and  $0.78$  for MyHC1, A, and X, respectively), suggesting that GeneFam may be suitable for ranking of individual muscle phenotype, particularly for MyHC2 fibers. In summary, GeneFam of MyHC mRNA resulted in reliable assessment of alterations in muscle fiber composition in skeletal muscle of previously untrained women after 12 weeks of strength training.

Human skeletal muscle exhibits a substantial ability to adapt to a training stimulus *or* sedentary behavior and immobilization (Gundersen, 2011; Schiaffino & Reggiani, 2011). While a trained muscle typically displays an aerobic phenotype, containing high levels of type 1/2A fibers (Klitgaard et al., 1990), an untrained muscle typically displays a glycolytic phenotype, containing high levels of type 2X fibers (Borina et al., 2010). Hence, training is associated with a spectrum of alterations, including qualitative changes in protein composition such as switching of the three hallmark proteins of muscle fibers, myosin heavy chain 1, 2A, and 2X (MyHC1, 2A, and 2X). These adaptations are at the heart of performance-enhancing and health-giving effects of physical activity, and such parameters are of particular interest to medical and exercise sciences (Schiaffino & Reggiani, 2011).

At present, immunohistochemistry and myofibrillar ATPase staining represent the most common approaches for assessing muscle fiber composition, with sodium dodecyl

sulfate–polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) representing a verified alternative (Talmadge & Roy, 1993; Bamman et al., 1999). Whereas the former two methods are based on labeling and counting of individual muscle fibers in tissue transections, the latter is based on measurement of MyHC protein abundances in bulk muscle samples. They thus provide fundamentally different outcome measures, although evidently providing information on the same phenotypic trait, i.e., the relative proportions of MyHC proteins, in turn, providing information on contractile properties.

Currently, the feasibility and accuracy of the two histochemical approaches are limited by a few pivotal drawbacks, including time and labor-intensive protocols and requirement of rather large masses of muscle tissue. In addition, for immunohistochemical analyses, current protocols for MyHC2 labeling typically rely on antibodies such as SC71 and A4.74, which unfortunately are unable to distinguish between MyHC2A and MyHC2X fibers (Smerdu & Soukup, 2008), a shift between which represents a prominent effect of training. This issue can, in part, be resolved by making use of the MyHC2X-specific antibody 6H1 (Smerdu & Soukup, 2008),

\*Members of The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology.

although this remains to become common practice, perhaps related to the inherent structural instability shown by this antibody ([http://dshb.biology.uiowa.edu/myosin\\_23](http://dshb.biology.uiowa.edu/myosin_23)).

Consequently, quantification of MyHC mRNA has been suggested as an intriguing possibility for fiber typing (Ellefsen & Stenslokken, 2010). Obviously, such an approach represents an indirect manner of assessing muscle fiber composition, targeting mRNA instead of protein. However, this may not represent a major issue, as previous research has suggested the two to be correlated in mammalian skeletal muscle (Lefaucheur et al., 2004; Zurmanova & Soukup, 2013), a correlation that also seems to be true for human biopsy material (Serrano et al., 2001; Marx et al., 2002). Furthermore, availability of a feasible method for mRNA-based fiber typing will provide complementary information on muscle biology, whether or not it is used as replacement for protein-based approaches. Among others, it will allow for simultaneous analysis of additional target genes in the same tissue sample. The accuracy of mRNA-based analysis of muscle fiber composition remains to be adequately determined.

Today, mRNA abundance is typically assessed using quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction (qRT-PCR), a high-throughput and accurate method (Bustin et al., 2009), displaying superior sensitivity, with only minor requirements for the amount of tissue. For studies of human skeletal muscle, this reads into a potential of allowing muscle fiber typing of tens or hundreds of subjects in a manner of days. The unprecedented sensitivity shown by the qRT-PCR methodology makes it necessary to take particular care during data sampling, analysis, and interpretation (Bustin et al., 2009), including the warranted employment of adequate approaches for data normalization (Vandesompele et al., 2002; Ellefsen et al., 2008, 2012).

In 2010, Ellefsen and Stenslokken presented a novel conceptual way of analyzing qRT-PCR data. It was proposed that the biological value of such data can be further increased by treating expression of singular genes as constituting fractions of overall gene-family expression, an approach termed Gene-family profiling (GeneFam) (Ellefsen & Stenslokken, 2010). This places expression of single genes into context of expression of its gene family members, which typically show related but specialized functions and often display spatially separated expression. Adding to this, the approach provides data on gene expression that are void of the uncertainties associated with internal reference gene normalization (Ellefsen & Stenslokken, 2010). Together, these aspects make GeneFam a highly interesting candidate for studies of MyHC composition in skeletal muscle. Indeed, its suitability for this purpose was suggested in a recent study, wherein it was utilized to confirm the effect of exogenous HIF-1 $\alpha$  transfection on MyHC composition, initially measured using immunohistochemistry (Lunde et al., 2011). Its validity and use-

fulness for studies of human muscle plasticity needs to be assessed (Ellefsen & Stenslokken, 2010).

In the current study, we hypothesized that immunohistochemistry and GeneFam would result in disclosure of similar alterations in muscle fiber composition in *musculus vastus lateralis* (VL) and *musculus biceps brachii* (BB) of previously untrained young women after 12 weeks of progressive heavy strength training, making both approaches appropriate alternatives for investigating alterations in muscle phenotype and contractile properties. We anticipated training adaptations to be manifested as increased proportions of MyHC2A and decreased proportions of MyHC2X, as previously described (Adams et al., 1993; Staron et al., 1994). To ensure thorough evaluation of GeneFam, we designed two parallel qRT-PCR assays, each targeting all three MyHC genes (1, 2A, and 2X; qPCR assays #1 and #2), resulting in parallel analyses of MyHC mRNA composition in both VL and BB. We also hypothesized that GeneFam would provide superior assessment of muscle fiber composition compared with the traditional reference gene assessment of MyHC expression.

## Methods

### Human material and strength training program

Muscle biopsies were sampled from VL and BB of 16 previously untrained women (age  $27 \pm 7$  years), using the Bergström procedure as described in Hanssen et al. (2013), before and after 12 weeks of progressive strength training. Subjects were instructed to refrain from physical activity during the last 48 h leading up to biopsy sampling. This was ascertained through oral communication and was done to avoid effects of acute bouts of exercise on MyHC expression, as previously observed (Willoughby & Nelson, 2002). During each biopsy sampling event, two separate muscle biopsies were retrieved in a consecutive order. They were then pooled in a Petri dish filled with sterile physiological salt water, and an appropriately sized muscle sample was immediately excised and selected for qRT-PCR analyses (average wet weight  $\pm$  SD: VL =  $31 \pm 8$ ; BB =  $28 \pm 7$  mg), whereupon a similarly sized sample was selected for immunohistochemical analyses (average wet weight  $\pm$  SD: VL =  $32 \pm 10$  mg; BB =  $25 \pm 7$ ). On average, the samples contained an estimated quantity of 400–500 fibers. Because samples for immunohistochemistry and qRT-PCR were randomly selected from the Petri dish, they may or may not have originated from the same sampling event. Pre- and post-biopsies were sampled at the same time of day for each particular subject. Biopsies for immunohistochemical analyses were immediately immersed in 10% buffered formaldehyde solution (Chemi-teknik AS, Oslo, Norway), wherein they were left to fixate for 3–4 days before further preparation. Biopsies for qRT-PCR analyses were immediately immersed in RNAlater<sup>®</sup> (Ambion, Life Technologies, Carlsbad, California, USA) and were treated according to manufacturer's protocol before storage at  $-80^{\circ}\text{C}$  until RNA extraction. In brief, the training protocol consisted of three bouts per week, each consisting of three lower body exercises and five upper body exercises, being performed as 1–3 sets at 7–10 repetition maximum, as described by Rønnestad et al. (2007). Informed consent was obtained from all subjects prior to study participation. Ethical aspect of the study was evaluated by the Regional Ethical Committee, who found it to fall outside the Health Research Law of Norway, meaning that it could be conducted without their official ethical consent. The study was performed in accordance with the Declaration of Helsinki.

## Quantitative RT-PCR

Gene-specific primers for reference and target genes were designed as previously described (Ellefsen et al., 2008), using Primer3 Plus (Untergasser et al., 2007). For each of the MyHC genes MyHC1, 2A, and 2X (corresponding to genes *Myh7*, 2, and 1, respectively), at least five primer pairs were designed in the 3' region, located between bases 5446 and 5771, as referenced to the coding domain sequence of NM\_000257. For each MyHC gene, two primer pairs were selected for further analysis, in practice meaning that the expression of each gene was quantified twice. This was done to hinder technical aspects of qRT-PCR performance from affecting study outcome. To avoid genomic contamination from affecting gene expression analyses, each primer pair was either located to span an exon-exon boundary containing a genomic intron >1000 nucleotides or to include at least one primer positioned directly in an exon-exon boundary. High-performance liquid chromatography (HPLC)-purified primers were purchased from Thermo Scientific (Waltham, Massachusetts, USA). In our hands, this enables much more consistent qRT-PCR performance than HPLC-purified and desalted primers ordered from other manufacturers (personal observation). All primer pairs were tested using the below described qRT-PCR protocol, with primer concentration of 100 nM and annealing temperature of 60 °C. Primer pairs showing lowest cycle threshold values (Ct) and at the same time showing distinct melting curves were chosen. Primer sequences are given in Table 1.

Total RNA was extracted from muscle biopsies using TRIzol reagent (Invitrogen, Life Technologies, Carlsbad, California, USA), as previously described (Ellefsen et al., 2008). Care was taken to remove all remnants of RNA later from the biopsies. RNA quantities were obtained using Nanodrop (Thermo Scientific). This analysis also included measurement of OD260:280 ratios, with values ranging from 1.9 to 2.0. Then, reverse transcription was performed on 500 µg total RNA using Superscript III Reverse Transcriptase (Invitrogen), primed with both random hexamers (Ambion) and oligo-d(T) (Ambion), according to manufacturer's protocol. Complementary DNA (cDNA) syntheses were performed in duplicate for each sample.

qRT-PCR was performed on 1/30 dilutions of cDNA using SYBR® Select Master Mix (Invitrogen) and the 7500 Fast Real-Time PCR System (Applied Biosystems, Life Technologies, Carlsbad, California, USA). Cycling consisted of initial UDG activation at 50 °C for 2 min, followed by enzyme activation at 95 °C for 2 min and 39 repeats of 94 °C for 3 s and 60 °C for 30 s. For each cDNA synthesis, one qRT-PCR reaction was performed for each gene, meaning that two qRT-PCR reactions were performed *per* gene *per* muscle biopsy. To avoid artifacts caused by run-to-run differences in qRT-PCR performance, every primer pair (qPCR assays #1 and #2) and every experimental group, i.e., all biopsies retrieved from a particular subject, was included in every qRT-PCR run. For each qRT-PCR reaction, Ct was calculated using the 7500

Fast Real-Time PCR System software in an automated manner, and priming efficiencies (E) were calculated using the LinRegPCR software (Ramakers et al., 2003; Ruijter et al., 2009). For final calculations of target gene expression, average priming efficiencies were utilized, calculated separately for each primer pair. Average E and Ct values for each of the primer pairs are given in Table 1.

MyHC mRNA composition was calculated using the GeneFam approach, developed by Ellefsen and Stenslokken (2010). GeneFam provides a normalization-free alternative to reference gene-based normalization by treating individual genes as constituting fractions of collective Gene-family expression. This arguably increases the physiological relevance of the data and seems particularly well-suited for MyHC mRNA-based fiber typing of skeletal muscle tissue (Ellefsen & Stenslokken, 2010). As a natural consequence of the fact that we quantified the expression of each of the three adult MyHC genes twice, using two distinct primer pairs for each gene, GeneFam-based determination of muscle composition was also performed twice. Such replication was evaluated to be necessary to minimize the probability of a false-positive agreement between GeneFam-assessed muscle fiber composition and immunohistochemistry-assessed muscle fiber composition. Prior to laboratory work and analyses, all six chosen MyHC-primer pairs were randomly separated into two GeneFam assays by flipping coins. These were termed qPCR assays #1 and #2, respectively, both assays implementing all three MyHC isoforms; MyHC1, 2A and 2X (Table 1).

Peptidylprolyl isomerase A (PPIA)-normalized target gene expression was calculated as  $PPIA^{E^{Ct}}/target\ gene^{E^{Ct}}$ , following the principles outlined in Ellefsen et al. (2008). Importantly, in a recent study, we established PPIA to be the most suitable internal reference gene for the current set of muscle biopsies (Ellefsen et al., in prep.), as evaluated using both the external RNA control gene mw2060 (Ellefsen et al., 2008) and the GeNorm (Vandesompele et al., 2002).

## Immunohistochemistry

Paraffin embedment of formalin-fixed muscle biopsies was performed using Leica EG1160 Tissue Embedding Station (Leica Biosystems Nussloch GmbH, Nussloch, Germany) and Histowax Embedding Medium (Histolab Products AS, Göteborg, Sweden). Tissue samples were pre-treated using Excelsior ES (Thermo Scientific). Transverse, serial sections (4 µm) were prepared using a HM450 Microtomes (Thermo Scientific) and mounted on K8020 glass slides (Dako Denmark AS, Glostrup, Denmark) in a water bath holding 45 °C, before incubation for 1 h at 60 °C.

Immunohistological analyses of MyHC fiber types were performed on serial sections using the monoclonal antibodies A4.840 (1) (H. Blau, Stanford, USA; Developmental Studies Hybridoma Bank), EPR5280 (2A) (Nordic Biosite), and 6H1 (2X) (C. Lucas,

Table 1. Quantitative reverse transcriptase polymerase chain reaction (qRT-PCR) primer sequences utilized for analysis of MyHC mRNA expression

Gene	Primers for qRT-PCR		qRT-PCR characteristics					
			VL		BB			
PPIA	F	GGTTTATGTGTGTCAGGGTGGTG	R	TCCCATAGATGGACTTGC	E = 1.99 ± 0.03	Ct = 25.8 ± 0.5	E = 1.99 ± 0.03	Ct = 25.8 ± 0.5
MyHC1 #1	F	AGGAGCTCACCTACCAGACG	R	TGCAGCTTGTCTACCAGGTC	E = 1.96 ± 0.03	Ct = 20.6 ± 1.0	E = 1.96 ± 0.04	Ct = 20.5 ± 1.1
MyHC2A #1	F	AACATGAGAGGCGAGTGAAG	R	GTGTTGGATTGTTCTCCTCAGC	E = 1.94 ± 0.03	Ct = 20.1 ± 0.8	E = 1.95 ± 0.05	Ct = 20.2 ± 1.1
MyHC2X #1	F	TGGTGGACAACTGCAAGC	R	TTGTTCTCCGCTTCTTCTCAG	E = 1.89 ± 0.05	Ct = 22.8 ± 2.4	E = 1.89 ± 0.05	Ct = 23.0 ± 2.0
MyHC1 #2	F	AGGACAGGAAAAACCTGCTG	R	GCTCCTCCGCTCCTC	E = 1.81 ± 0.04	Ct = 22.3 ± 1.7	E = 1.81 ± 0.04	Ct = 22.4 ± 1.9
MyHC2A #2	F	TGGAAGGAGAGGTTGAGAGTG	R	ACTCGCTCTCATGTTTGC	E = 1.99 ± 0.12	Ct = 19.9 ± 0.8	E = 1.98 ± 0.04	Ct = 20.0 ± 1.1
MyHC2X #2	F	AGAAGCGCAATGTTGAAGC	R	TGCGGTCTTCTCAGITTTG	E = 1.94 ± 0.04	Ct = 22.0 ± 2.6	E = 1.94 ± 0.04	Ct = 22.3 ± 2.1

Priming efficiencies (E) and Ct values are given as average of all qRT-PCR reactions, summarized separately for *musculus vastus lateralis* (VL) and *musculus biceps brachii* (BB) in the four rightmost columns. Values are mean ± SD. F = forward primer, R = reverse primer. #1 and #2 denote MyHC qRT-PCR assays #1 and #2.

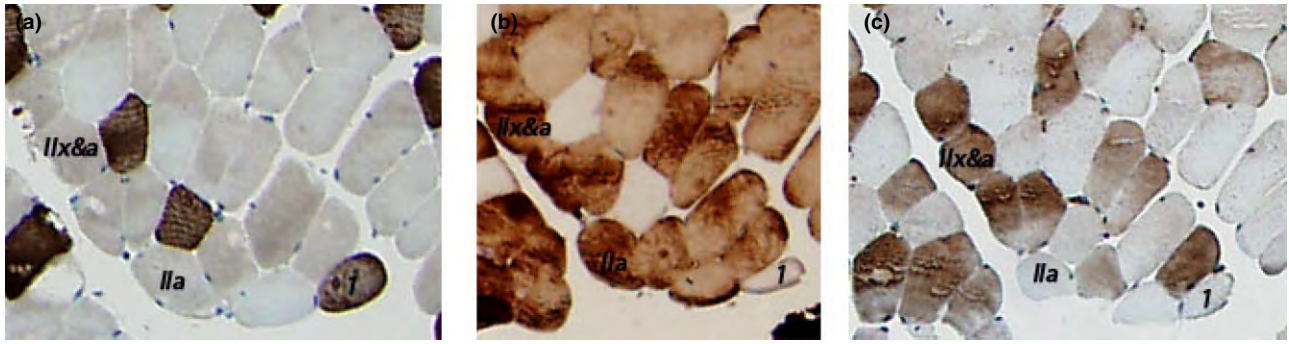


Fig. 1. Representative labeling of myosin heavy chains in serial sections of human skeletal muscle using antibodies toward (a) MyHC1 (A4.840), (b) MyHC2A (EPR5280), and (c) MyHC2X (6H1).

Sydney, Australia; Developmental Studies Hybridoma Bank), respectively, at 1:50, 1:50, and 1:10 dilutions. Prior to immunohistochemical staining, sections were deparaffinized manually, before they were pretreated in PT Link (Dako) using EnVision™ Target Retrieval Solution (ETRS); high pH (K8004, Dako) for A4.840 and low pH (K8005, Dako) for EPR5280 and 6H1. Sections for 6H1 staining were pre-treated with Proteinase K (S3020, Dako). EnVision™ FLEX+ Visualization System (Dako) was utilized for visualization. All immunohistochemical staining was performed in Dako Autostainer Plus (Dako). In addition, contrast staining was performed manually using Ehrlich's hematoxylin.

Stained serial sections of muscle biopsies were captured using Olympus DP70 (Olympus, Tokyo, Japan) at  $\times 10$  magnification. Subsequent analyses of muscle fiber distribution were performed using Photoshop CS5 Extended (Adobe), with a minimum of 200 fibers being counted and included *per* biopsy, as recommended by Blomstrand and Ekblom (1982). For images showing representative labeling of MyHC1 (A4.840), MyHC2A (EPR5280), and MyHC2X (6H1), see Fig. 1. For the sake of the current analyses, MyHC1/2A hybrid fibers were counted as  $0.5 \times$  MyHC1 and  $0.5 \times$  MyHC2A. This was done to allow feasible and seamless comparison with qRT-PCR data, wherein it is impossible to distinguish hybrid fibers from other fibers. Moreover, MyHC1/2A hybrid fibers were scarcely abundant, amounting to a mere 0.3% and 1.1% of all fibers in BB and VL, respectively (see legend of Fig. 2). As for MyHC2A/2X hybrids, a particular issue became evident during the analyses. All fibers that were labeled for the 2X antibody were found to co-label for the 2A antibody, but not vice versa. This means one of two things: (a) either all 2X-positive fibers are 2X-2A hybrids or (b) the 2A antibody recognizes the 2X antigen in addition to recognizing the 2A antigen. The former seems highly unlikely, a notion that was underlined by the data presented by Smerdu and Eržen (2001), showing that only 24% of MyHC2X mRNA-expressing fibers co-express another form of adult MyHC mRNA, an observation that was supported by ATPase-activity analyses (Smerdu & Soukup, 2008). As for the latter, the double staining may well have been caused by unspecific interaction between the 2A antibody and the 2X antigen. Indeed, this has been reported to be a major issue when working with human muscle biopsies (Smerdu & Soukup, 2008). The information provided by Smerdu and Soukup (2008) is actually what led us to utilize the uncharacterized EPR5280 antibody for our immunohistochemical analyses in the first place (<http://www.usbio.net/item/M9850-14P>). Notably, the 6H1 antibody seems to specifically recognize the 2X antigen (Lucas et al., 2000; Smerdu & Soukup, 2008). In summary, we feel confident in interpreting our double-stained 2A-2X fibers as being 2X fibers only, at least for the larger proportion of the fibers. Thus, we have chosen to refer to these fibers as 2X fibers.

Unfortunately, of the 16 subjects for which we had complete sets of biopsies from both VL and BB (pre and post), we were only

able to retrieve complete sets of MyHC-labeled serial tissue sections (1 + 2A + 2X) for 12 and 13 subjects, respectively. This was mainly due to an undisclosed issue with the performance of the 6H1 antibody on some of the tissue samples, possibly linked to the fragility of the antibody *or* to high levels of intramuscular triglycerides, potentially affecting tissue preparation.

### Statistics

The effects of training on immunohistochemistry- and GeneFam-assessed muscle fiber compositions in VL and BB were evaluated using a two-tailed paired *t*-test. To ensure normal distribution, as calculated using the Shapiro-Wilk normality test, data were arcsine-transformed prior to statistical testing. This was the appropriate choice of transformation given the fact that the data were proportions ranging from zero to one (100% being set to 1.0). The effects of training on PPIA-normalized MyHC gene expression in VL and BB were evaluated using a two-tailed paired *t*-test. To achieve normal distribution, data were log<sub>2</sub>-transformed prior to statistical testing. For data that after arcsine or log<sub>2</sub>-transformation still did not pass the Shapiro-Wilk normality test, a Wilcoxon signed-rank test was performed to evaluate differences between pre- and post-training values. Correlation analyses between immunohistochemistry- and GeneFam-determined muscle fiber composition was performed using Pearson's correlation. Correlation coefficients were interpreted according to Hopkins et al. (2009);  $r < 0.1$  = trivial,  $0.1-0.3$  = small,  $0.3-0.5$  = moderate,  $0.5-0.7$  = large,  $0.7-0.9$  = very large,  $0.9$  = nearly perfect, and  $1.0$  = perfect. Furthermore, the agreement between the two methods for estimating fiber type composition was evaluated using a Bland-Altman plot. Statistical calculations were performed using GraphPad® Prism5 (GraphPad Software, San Diego, California, USA) and Sigmaplot 12.0 (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).  $P < 0.05$  was considered significant. In the figures, data on MyHC proportions are presented as non-transformed individual values and mean values with a back-transformed 95% confidence interval (CI). In the text, MyHC proportions are referred to as mean values. Data on PPIA-normalized MyHC expression are presented as log<sub>2</sub>-transformed individual values and mean values with a 95% CI.

### Results

Twelve weeks of progressive heavy strength training led to rather extensive alterations in muscle phenotype in both VL and BB (Fig. 2) of previously untrained young women. These alterations were readily disclosed using both immunohistochemistry and qRT-PCR, and were

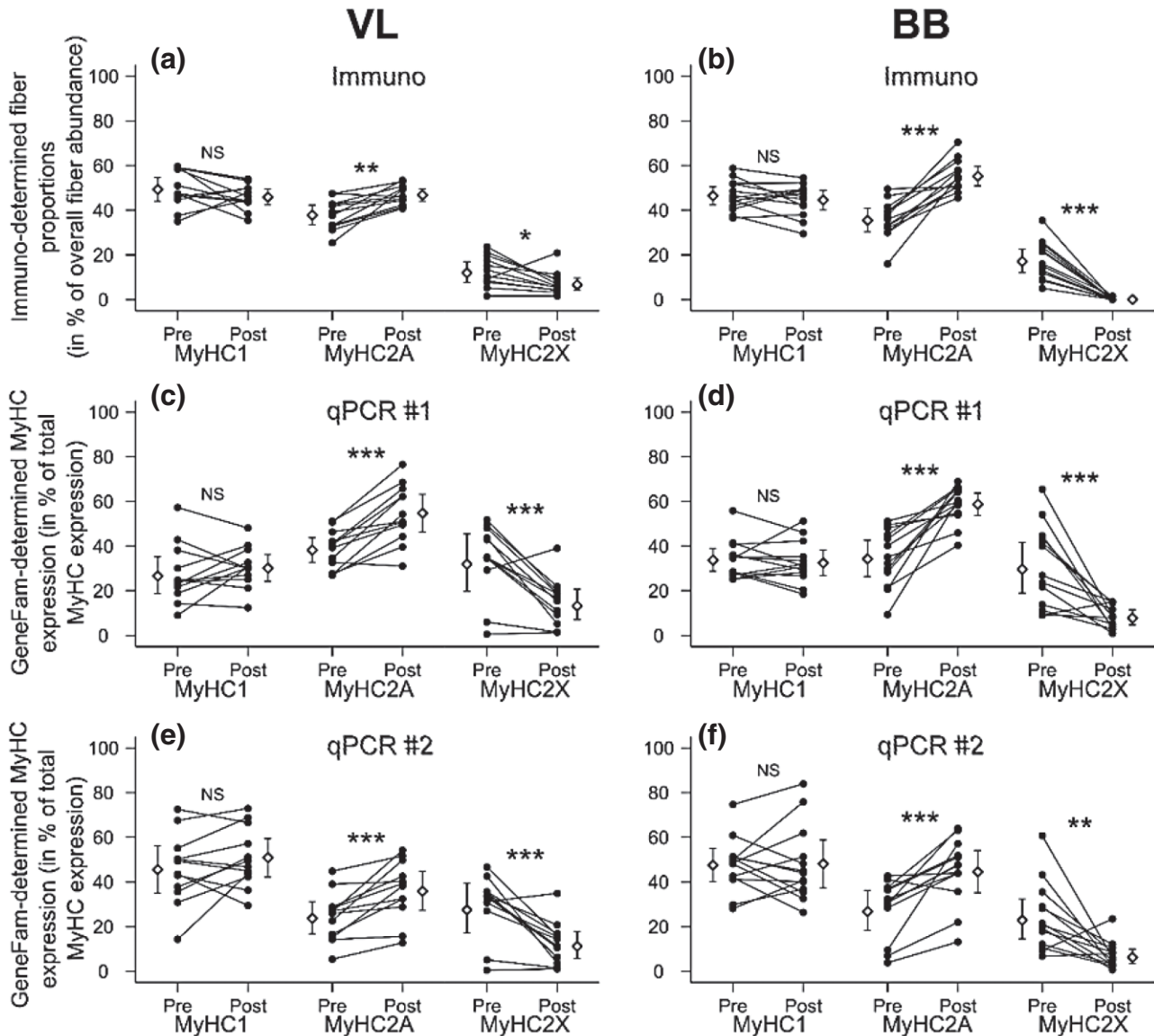


Fig. 2. The effect of 12 weeks of strength training on muscle fiber composition in *musculus vastus lateralis* (VL) and *musculus biceps brachii* (BB) of previously untrained young women ( $n = 12$  and  $13$  for VL and BB, respectively). Biopsies were sampled before (Pre) and after (Post) the training intervention. (a, b) Immunohistochemistry (Immuno)-determined muscle fiber proportions of Pre and Post muscle biopsies, presented as percentage of overall fiber abundance. Fibers were classified as either MyHC1, 2A, or 2X. Notably, MyHC1/2A hybrids were detected in both pre- (VL, 0.8%; BB 0.4%) and post-training (VL, 1.4%; BB 0.1%) biopsies, with no statistically significant alteration being detected. For the sake of the current analyses, these fibers were counted as  $0.5 \times$  MyHC1 and  $0.5 \times$  MyHC2A rather than as an independent group of fibers. MyHC2A/X positive fibers are denoted MyHC2X (as argued in the Methods section). GeneFam-determined muscle fiber proportions (MyHC1, 2A, or 2X) of pre- and post-training muscle biopsies, presented as percentage of overall MyHC expression, using either qPCR assay #1 (c, d) or qPCR assay #2 (e, f). Effects of training on MyHC proportions were tested on arcsine-transformed data using a Student's  $t$ -test. However, for immuno-determined MyHC2X proportions in BB, which failed to pass the Shapiro-Wilk normality test, a Wilcoxon signed-rank test was utilized. Data are presented as non-transformed mean percentages (open tilted squares) with 95% back-transformed confidence limits and non-transformed individual values (black dots and lines). NS = non-significant; \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$ .

evident as changes in muscle fiber composition toward an oxygen-dependent MyHC2A phenotype (Fig. 2), moving away from the glycolytic MyHC2X phenotype. No effect of training was found for MyHC1 (Fig. 2), using either of the approaches. In detail, in VL, MyHC2A muscle fiber abundance showed an increase from 38% to 47% using immunohistochemistry and from 38% to 55% and from 25% to 36% using GeneFam; qPCR assays #1 and #2,

respectively (Fig. 2a,c,e;  $P < 0.01$ ,  $P < 0.001$ , and  $P < 0.001$ , respectively). For MyHC2X, the corresponding decreases was from 13% to 7%, from 34% to 15%, and from 30% to 13%, respectively ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.001$ , and  $P < 0.001$ , respectively). In BB, MyHC2A muscle fiber abundance showed an increase from 36% to 55% using immunohistochemistry and from 35% to 59% and from 28% to 45% using GeneFam; qPCR assays #1 and



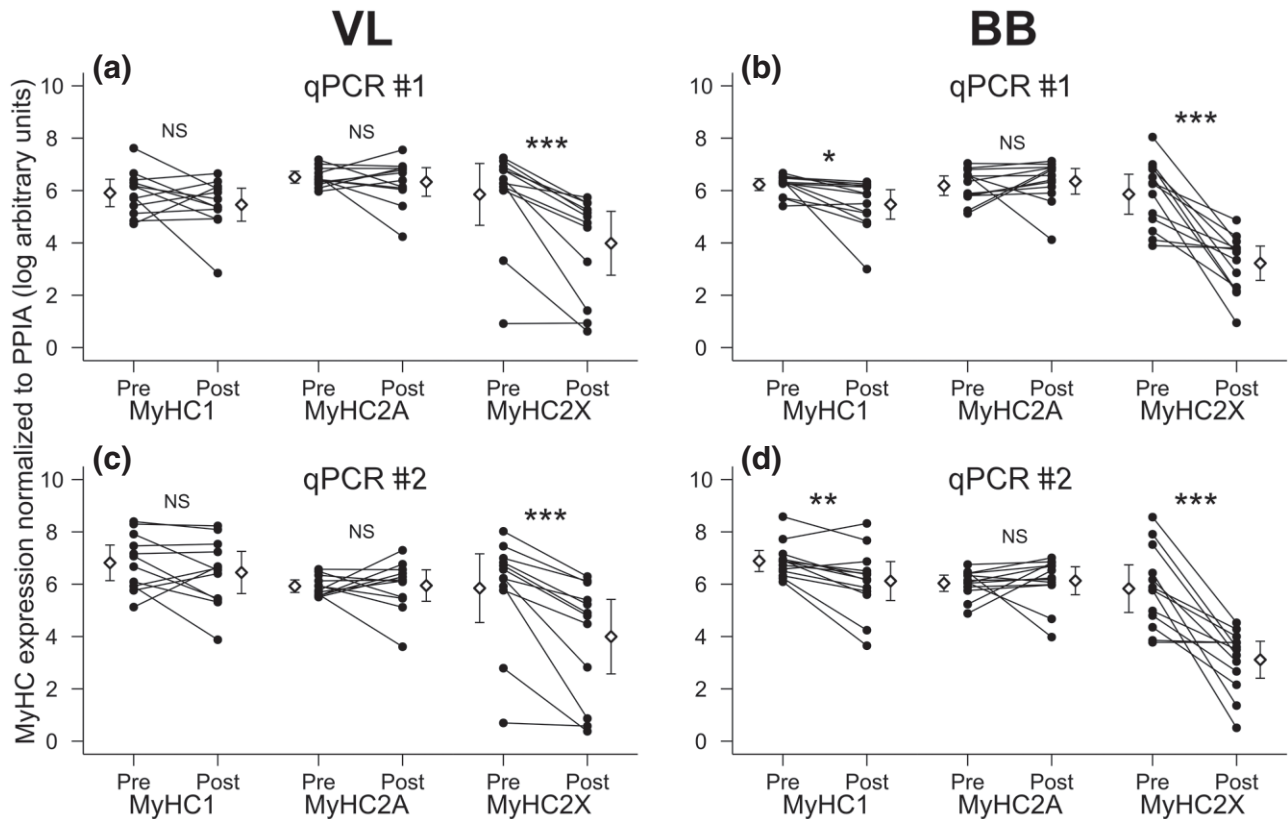


Fig. 3. The effect of 12 weeks of strength training on PPIA-normalized MyHC mRNA expression in *musculus vastus lateralis* (VL) and *musculus biceps brachii* (BB) of previously untrained young women ( $n = 12$  and  $13$  for VL and BB, respectively), quantified using (a, b) MyHC qPCR assay #1 and (c, d) MyHC qPCR assay #2. Biopsies were sampled before (Pre) and after (Post) the training intervention. Effects of training on MyHC proportions were tested on log<sub>2</sub>-transformed data using a Student's *t*-test. Data are log<sub>2</sub>-transformed and presented as mean values (open tilted squares) with 95% confidence limits and individual values (black dots and lines). NS = not significant; \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$ .

#2, respectively (Fig. 2b,d,f; all  $P < 0.001$ ). For MyHC2X, the corresponding decrease was from 18% to 0.1%, from 31% to 9%, and from 24% to 7%, respectively ( $P < 0.001$ ,  $P < 0.001$ , and  $P < 0.01$ , respectively). Notably, in post-intervention BB, only two biopsies stained positively for MyHC2X using immunohistochemistry, explaining the observed decrease to a mere 0.1% of overall muscle fiber composition (Fig. 2b).

In addition to immunohistochemistry- and GeneFam-assessed MyHC composition, we performed reference gene-based analyses of MyHC mRNA expression, using PPIA for normalization and exploring both qPCR assays #1 and #2. Whereas this analysis failed to reveal the increase in MyHC2A abundance (Fig. 3), it successfully revealed the decrease in MyHC2X abundance in both VL (Fig. 3a,c;  $P < 0.001$ ) and BB (Fig. 3b,d;  $P < 0.001$ ). In addition, it revealed an aberrant decrease in MyHC1 expression in BB ( $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  in qPCR assays #1 and #2, respectively; Fig. 3b,d).

Correlation analyses revealed a close association between GeneFam- and immunohistochemistry-determined muscle fiber composition (MyHC1,  $r = 0.50$ ; MyHC2A,  $r = 0.74$ ; MyHC2X,  $r = 0.78$ ;  $P < 0.001$ ; Fig. 4). These correlation coefficients suggest large (MyHC1) to very large

(MyHC2A and 2X) relationship between methods, as defined by Hopkins et al. (2009). Furthermore, a Bland-Altman plot analysis suggested GeneFam to be associated with (mean  $\pm$  SD)  $15 \pm 9\%$  and  $-13 \pm 12\%$  bias for estimates of MyHC1 and MyHC2X fiber proportions (Fig. 5), with a mere  $-3 \pm 10\%$  bias being found for MyHC2A (Fig. 5).

## Discussion

To the best of our knowledge, this is the first study to demonstrate that qRT-PCR provides reliable assessment of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle tissue. Using GeneFam (Ellefsen & Stenslokken, 2010), we were able to reveal alterations in muscle fiber composition and hence alterations in contractile properties in both VL and BB in a group of previously untrained women, comparable to those found using immunohistochemistry-based fiber typing. Specifically, these alterations were evident as increases in MyHC2A abundance, decreases in MyHC2X abundance, and stable abundances of MyHC1. These results closely resemble previous reports of the effect of prolonged heavy strength training on muscle

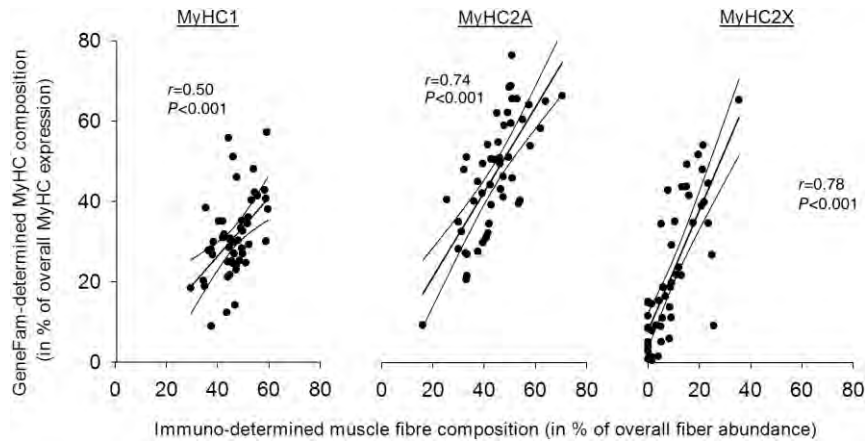


Fig. 4. Correlation between immunohistochemistry- and GeneFam-assessed muscle fiber composition (MyHC1, 2A, and 2X) in *musculus vastus lateralis* and *musculus biceps brachii* of 12 and 13 previously untrained young women, respectively. Muscle biopsies were sampled before (pre) and after (post) the training intervention period. For the sake of the current analysis, data from *musculus vastus lateralis* and *musculus biceps brachii* were pooled. Values are individual (data from one muscle biopsy = one black dot). Curved lines denote 95% confidence intervals.

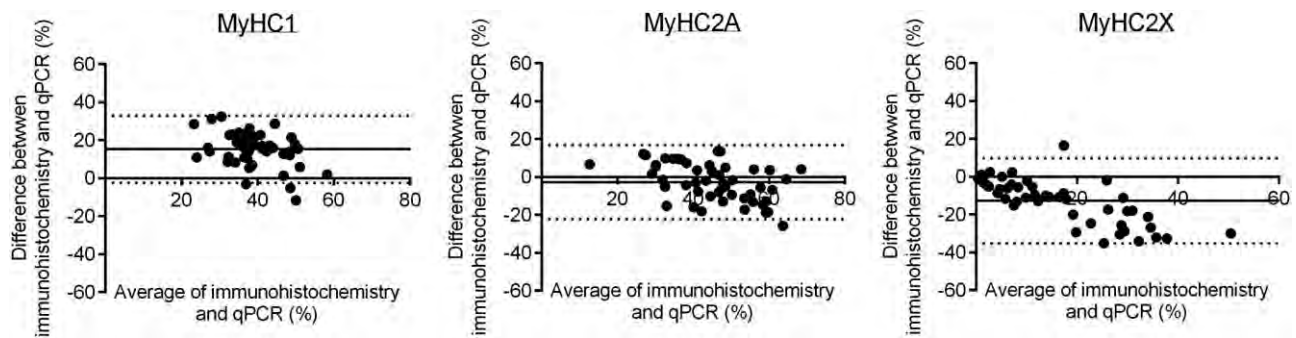


Fig. 5. Bland-Altman plot showing difference vs average of skeletal muscle myosin heavy chain (MyHC1, 2A, and 2X) composition using immunohistochemistry and qPCR. Type 1 MyHC is in the left panel, type 2A MyHC is in the middle panel and type 2X MyHC is in the right panel. Solid line signifies mean difference (bias) and dotted line signifies 95% limits of agreement. For the sake of the current analysis, data from *musculus vastus lateralis* and *musculus biceps brachii* were pooled. Values are individual (data from one muscle biopsy = one black dot).

fiber composition in humans, displaying a marked shift from 2X toward 2A (Adams et al., 1993; Staron et al., 1994), with a concomitant stability in type 1 abundance (Adams et al., 1993; Staron et al., 1994), as measured both by histology (Adams et al., 1993; Staron et al., 1994) and at the level of protein content (Adams et al., 1993).

The correlation between immunohistochemistry- and GeneFam-assessed muscle fiber compositions, corresponding to large (MyHC1) and very large (MyHC2A and 2X) relationship between methods (Hopkins et al., 2009), suggests that analysis of MyHC mRNA distribution may allow individual ranking of muscle fiber distribution, particularly for MyHC2 fibers. Interestingly, GeneFam-based muscle fiber composition actually displayed percentage distributions that closely resembled those obtained using immunohistochemistry, using both qPCR assays #1 and #2, as evaluated using a Bland-Altman plot. This agreement was particularly strong for MyHC2A fibers, with MyHC1 and MyHC2X proportions being slightly under- and overestimated, respec-

tively. This was found despite the fact that the two methods were performed on separate tissue samples (although stemming from the same sampling event), which is likely to have imposed additional variation into the comparison, with repeated biopsies showing up to 20% variation in muscle fiber composition (Blomstrand & Ekblom, 1982). Importantly, however, it is unlikely that mRNA-based analyses will allow for accurate determination of proportional muscle fiber distribution, as elaborated on below.

A more thorough analysis of the Bland-Altman plot reveals that MyHC2X abundances measured using the two methods exhibited increasing discrepancies with increasing proportions of MyHC2X. This suggests that MyHC2X levels are progressively underestimated using one of the methods. Interestingly, in the case of immunohistochemical analyses of pre-intervention biopsies, which generally displayed high levels of MyHC2X, the MyHC2X-specific antibody 6H1 resulted in a characteristic background shading of the majority of muscle fibers. This suggests the presence of hybrid fibers containing

MyHC2X, which arguably contributes significantly to muscle phenotype and function though being unquantifiable by immunohistochemistry. Such hybrid fibers may even provide an explanation to the relatively abundant MyHC2X transcript levels seen in most samples, even in BB post-biopsies where it was expressed at levels five- to sixfold higher than the moderately expressed  $\beta$ -actin transcript (Bustin, 2000) (data not shown), despite the fact that MyHC2X could not be detected at the immunohistochemical level. From these high levels of MyHC2X expression, it can also be argued that the discrepancy between qRT-PCR data and immunohistological data is unlikely to be an artifact of investigation of different amounts of muscle samples, although the latter was performed on two to three times as many fibers (see the Methods section). Whereas MyHC2X expression seems to be ubiquitously high throughout the muscle tissue, others have shown that 200 fibers should be sufficient to provide a representative picture of muscle fiber composition (Blomstrand & Ekblom, 1982). In essence, GeneFam-based fiber typing is likely to make a valuable supplement to any analysis of muscle phenotype, perhaps alongside SDS-PAGE-based analyses, which offers a similar conceptual way of analyzing MyHC content in bulk muscle.

#### GeneFam – opportunities and limitations

The suitability of GeneFam for determination of muscle fiber composition is unequivocally dependent on adequate associations between MyHC mRNA and fiber abundances. Our data suggest that this is indeed the case in human skeletal muscle, a notion that gains support from other studies (Serrano et al., 2001; Marx et al., 2002). However, the utilization of GeneFam for fiber typing is still prone to a few potential sources of errors. For example, the ratio between MyHC mRNA abundance and fiber abundance is likely to change upon shorter periods of training. This offset is due to the fact that fiber-specific traits are altered at the level of mRNA before they are altered at the level of protein, as caused by a more rapid turnover of mRNA (Caiozzo et al., 1996; Schiaffino & Reggiani, 2011). Evidently, 12 weeks of progressive heavy strength training was sufficient to provide equal alterations in MyHC mRNA and protein composition, as evaluated from the current data set. In a broader context, acute bouts of exercise are also likely to have an impact on MyHC mRNA expression, evidently increasing the abundance of all three variants (Willoughby & Nelson, 2002). This makes sampling of biopsies from rested-state muscle an essential feat for allowing comparison of MyHC composition between individuals. In the current study, we employed a latency time of 48 h between exercise and biopsy sampling. Future studies should elaborate on the effects of timing of biopsy sampling on MyHC expression.

In addition to this, GeneFam-determined muscle fiber composition will be prone to variation in qRT-PCR con-

ditions and choices of methods for analyses, including tissue content of glycogen and fat, method for reverse transcription, primer pair functionality (including variation in parameters such as manufacturer and method for purification), reaction efficiencies, Ct-value calculations, enzyme kits and qRT-PCR equipment (Nolan et al., 2006). As a concrete example, employment of different priming strategies for reverse transcription will affect qRT-PCR-determined expression of different genes (e.g., MyHC genes) in different ways (Stahlberg et al., 2004). Throughout the last decade, our laboratory staff has had first-hand experience with how these parameters can affect qRT-PCR performance. Indeed, this is also evident in the current data set, wherein employing qPCR assays #1 and #2, respectively, resulted in deviating measures of MyHC expression. Importantly, however, most of them are likely to exert similar effects on all data sampled within any particular projects, assuming proper design and standardized conditions (see the Methods section). They will thus have no effect on the ability of GeneFam to reveal training-induced changes in muscle fiber composition, nor its ability to rank individuals based on muscle fiber composition. Arguably, these outcome variables are of primary interest in assessment of effects of physical interventions on human skeletal muscle biology. However, the limitations are likely to have negative consequences for the ability of GeneFam to provide accurate estimates of “absolute” muscle fiber composition. This implies that percentage distribution of MyHC mRNA obtained using qRT-PCR cannot be directly translated into actual percentage distribution of fibers, although this was close to being true in our data set. Hence, the use of GeneFam for determination of muscle fiber composition should be restricted to analyses of training-induced alterations and between-subject ranking, at least until its suitability has been validated for other purposes. The general suitability of GeneFam for assessing alterations in muscle fiber composition in different experimental contexts needs to be confirmed through additional studies.

#### GeneFam-based analyses of MyHC gene expression vs reference gene-based analyses

GeneFam is based on the principle that analysis of expression of singular genes will be given increased physiological value when they are interpreted in the context of its gene-family companions (Ellefsen & Stenslokken, 2010). As such, members of a particular gene family typically display similar properties, performing similar, though slightly different and specialized, tasks in cells. For example, while members of the MyHC gene family share the ability to move along  $\alpha$ -actin fibers, they display important differences when it comes to their kinetic properties. Hence, we argue that analysis of any particular MyHC genes will benefit from being analyzed in the context of its gene-family

companions, providing insight into overall kinetic properties of particular muscle samples. The appropriateness of this line of thought was evident in the current data set. While GeneFam-based analysis of MyHC mRNA expression provided data that were closely matched with immunohistochemical data, this was not the case for single-gene analysis of MyHC mRNA, which showed clearly aberrant traits, failing to disclose the increased MyHC2A abundance as well as displaying an erroneous decrease in MyHC1 abundance, at least in BB. The underlying causes behind these discrepancies remain unclear. However, we know that they were not related to errors made during in data normalization, as the employed reference gene (PPIA) was recently evaluated to be highly suitable for normalization in the current biopsy material, both showing stable, geometrically evaluated abundance and stable expression per-weight unit tissue (Ellefsen et al., in prep.). Instead, it might be related to a general alteration in the turnover of mRNA molecules, wherein trained muscle tissue is in need of fewer MyHC mRNA templates per milligram tissue to sustain adequate MyHC protein production.

### GeneFam vs immunohistochemistry

Because GeneFam targets mRNA abundance rather than protein, it is bound to provide circumstantial assessment of muscle fiber composition. This means that it can never truly replace immunohistochemistry or SDS-PAGE, although it evidently provides reliable and valuable information on alterations in muscle phenotype following a period of strength training. Nevertheless, GeneFam holds several important advantages. First, immunohistochemistry is associated with drawbacks such as time and labor-intensive protocols, requirement of rather large amounts of muscle tissue and reliance on subjective judgment during image analyses. In contrast, qRT-PCR provides high-throughput analyses, while at the same time displaying high sensitivity (Bustin et al., 2009), allowing for reliable determination of muscle fiber composition in large groups of subjects in a matter of days. Accordingly, in theory, it requires only minimal amounts of muscle tissue, making it feasible for studies of experimental models such as humans, in which availability of muscle tissue is often a limiting factor. This may even allow for utilization of the minimally invasive micro biopsy procedure for biopsy retrieval (Hayot et al., 2005), likely acting to lower the threshold for subject participation in research projects, especially for groups such as cachexic patients and top athletes. Microbiopsies will also make repetitive sampling of biopsies a much simpler feat, e.g., in acute experiments. Importantly, utilization of microbiopsies for such purposes needs to be validated as such small amounts of tissue may not necessarily reflect the overall muscle fiber composition of the muscle (the smaller the samples, the more prone their composition will be to chance variation). Second, using qRT-PCR for

determination of muscle fiber composition allows for simultaneous analysis of fiber distribution and target gene expression. This could act to increase the resolution of correlation analyses between fiber-specific traits and target gene expression; as such, analyses will no longer be prone to biopsy-to-biopsy variation in muscle fiber composition (Blomstrand & Ekblom, 1982).

At present, immunohistochemical assessment of muscle MyHC content readily allows for disclosure of type 1 and type 2 fibers. However, it does not allow distinguishing between type 2A and 2X fibers, as most available antibodies tend to cross-react between epitopes on the two proteins (Smerdu & Soukup, 2008). This is unfortunate given the fact that one of the most prominent effects of training is a shift between these two fiber types. Indeed, had we been limited to such an approach in the current study, we would not have been able to disclose any training-induced alterations in muscle fiber composition. While this issue can be resolved using the 2X-specific 6H1 antibody (Smerdu & Soukup, 2008), this antibody proves difficult to work with, a fact that may be linked to its inherent instability ([http://dshb.biology.uiowa.edu/myosin\\_23](http://dshb.biology.uiowa.edu/myosin_23)). SDS-PAGE provides another viable alternative, allowing measurement of MyHC protein content in bulk muscle. Still, we argue that GeneFam can be an alternative for muscle fiber typing, as it allows for simultaneous assessment of MyHC abundance and large-scale target gene expression. There is a need for investigation of the compatibility between SDS-PAGE- and GeneFam-determined muscle fiber composition.

### Perspectives

Based on the results of the current study, GeneFam arguably offers a reliable alternative to protein-based determination of muscle fiber composition in human skeletal muscle material, allowing both analyses of training-induced alterations and ranking of individual subjects based on MyHC proportions. This allows for assessment of the contractile properties of skeletal muscle in a highly time-efficient manner and may pave the way for the determination of muscle fiber composition in small amounts of muscle tissue, potentially making the minimally invasive micro biopsy procedure a viable alternative for biopsy retrieval. This will, in turn, act to lower the threshold for participation in research project for subjects such as cachexic patients and top athletes. Suggestively, GeneFam allows simultaneous determination of MyHC proportions and target gene expression in the same tissue sample. The high sensitivity of the qRT-PCR technique will enable such analysis in single fibers. GeneFam-based analyses of muscular gene expression will not be restricted to MyHC genes and are likely to be just as valuable for analyses of genes of other gene families, including those showing fiber type-specific expression or those responding to training by showing interchangeable

patterns of expression. Further elucidation of the feasibility of GeneFam for studies of human skeletal muscle plasticity is warranted.

**Key words:** Normalization, real-time RT-PCR, fiber typing, resistance training, exercise, muscle biopsy, GeneFam, gene-family profiling, MYH.

### Acknowledgements

This work was supported by grant 203961 from the Regional Science Fund – Innlandet of Norway, given to S. E. Thanks are due to students Øyvind Skattebo, Knut Sindre Mølmen, Thomas Fenne, Fredrik Lie Haugen, Amund Løvstad, Trine C. Larsen, Gunnar Disch, Eirik F. Langøy, and Elisabeth Hildenes for invaluable assistance during intervention follow-up and data sampling. A

special thanks to the Division of Surgery at Lillehammer Hospital for making sampling of muscle biopsies possible.

### Authors contributions

S. E. and B. R. R. conceived and initiated the project and acted as project leaders. All authors contributed to design and data interpretation. S. E., O. V., E. Z., I. R., D. H., M. H., G. V., C. E. F., H. N. and B. R. R. contributed to data collection and analysis. S. E. drafted the manuscript and all authors contributed by revising it critically. All authors approved the submitted version. Experiments were performed in laboratory facilities at Lillehammer University College and Innlandet Hospital Trust's Hospital, Lillehammer.

### References

- Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol* 1993; 74: 911–915.
- Bamman MM, Clarke MSF, Talmadge RJ, Feedback DL. Enhanced protein electrophoresis technique for separating human skeletal muscle myosin heavy chain isoforms. *Electrophoresis* 1999; 20: 466–468.
- Blomstrand E, Ekblom B. The needle biopsy technique for fibre type determination in human skeletal muscle – a methodological study. *Acta Physiol Scand* 1982; 116: 437–442.
- Borina E, Pellegrino MA, D'Antona G, Bottinelli R. Myosin and actin content of human skeletal muscle fibers following 35 days bed rest. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 65–73.
- Bustin SA. Absolute quantification of mRNA using real-time reverse transcription polymerase chain reaction assays. *J Mol Endocrinol* 2000; 25: 169–193.
- Bustin SA, Benes V, Garson JA, Hellems J, Huggett J, Kubista M, Mueller R, Nolan T, Pfaffl MW, Shipley GL, Vandesompele J, Wittwer CT. The MIQE guidelines: minimum information for publication of quantitative real-time PCR experiments. *Clini Chem* 2009; 55: 611–622.
- Caiizzo VJ, Haddad F, Baker MJ, Baldwin KM. Influence of mechanical loading on myosin heavy-chain protein and mRNA isoform expression. *J Appl Physiol* 1996; 80: 1503–1512.
- Ellefsen S, Bliksøen M, Rutkovskiy A, Johansen IB, Kaljusto M-L, Nilsson GE, Vaage JI, Stenslokken K-O. Per-unit-living tissue normalization of real-time RT-PCR data in ischemic rat hearts. *Physiol Genomics* 2012; 44: 651–656.
- Ellefsen S, Stenslokken K-O. Gene-family profiling: a normalization-free real-time RT-PCR approach with increased physiological resolution. *Physiol Genomics* 2010; 42: 1–4.
- Ellefsen S, Stenslokken K-O, Sandvik GK, Kristensen TA, Nilsson GE. Improved normalization of real time RT-PCR data using an external RNA control. *Anal Biochem* 2008; 376: 83–93.
- Gundersen K. Excitation-transcription coupling in skeletal muscle: the molecular pathways of exercise. *Biol Rev Camb Philos Soc* 2011; 86: 564–600.
- Hanssen KE, Kvamme NH, Nilsen TS, Rønnestad B, Ambjørnsen IK, Norheim F, Kadi F, Hallèn J, Drevon CA, Raastad T. The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23: 728–739.
- Hayot M, Michaud A, Koechlin C, Caron M-A, LeBlanc P, Préfaut C, Maltais F. Skeletal muscle microbiopsy: a validation study of a minimally invasive technique. *Eur Respir J* 2005; 25: 431–440.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 3–13.
- Klitgaard H, Bergman O, Betto R, Salviati G, Schiaffino S, Clausen T, Saltin B. Co-existence of myosin heavy chain I and IIa isoforms in human skeletal muscle fibres with endurance training. *Pflugers Arch* 1990; 416: 470–472.
- Lefaucheur L, Milan D, Ecolan P, Le Callennec C. Myosin heavy chain composition of different skeletal muscles in Large White and Meishan pigs. *J Anim Sci* 2004; 82: 1931–1941.
- Lucas CA, Kang LHD, Hoh JFY. Monospecific antibodies against the three mammalian fast limb myosin heavy chains. *Biochem Biophys Res Commun* 2000; 272: 303–308.
- Lunde IG, Anton SL, Bruusgaard JC, Rana ZA, Ellefsen S, Gundersen K. Hypoxia inducible factor 1 $\alpha$  links fast-patterned muscle activity and fast muscle phenotype in rats. *J Physiol* 2011; 589: 1443–1454.
- Marx JO, Kraemer WJ, Nindl BC, Larsson L. Effects of aging on human skeletal muscle myosin heavy-chain mRNA content and protein isoform expression. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; 57: B232–B238.
- Nolan T, Hands RE, Bustin SA. Quantification of mRNA using real-time RT-PCR. *Nat Protoc* 2006; 1: 1559–1582.
- Ramakkers C, Ruijter JM, Deprez RH, Moorman AF. Assumption-free analysis of quantitative real-time polymerase chain reaction (PCR) data. *Neurosci Lett* 2003; 339: 62–66.
- Rønnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 157–163.
- Ruijter JM, Ramakkers C, Hoogaars WMH, Karlen Y, Bakker O, van den Hoff MJB, Moorman AFM. Amplification efficiency: linking baseline and bias in the analysis of quantitative PCR data. *Nucleic Acids Res* 2009; 37: 12.
- Schiaffino S, Reggiani C. Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev* 2011; 91: 1447–1531.
- Serrano AL, Pérez M, Lucia A, Chicharro JL, Quiroz-Rothe E, Rivero JLL. Immunolabelling, histochemistry and in

- situ hybridisation in human skeletal muscle fibres to detect myosin heavy chain expression at the protein and mRNA level. *J Anat* 2001; 199: 329–337.
- Smerdu V, Eržen I. Dynamic nature of fibre-type specific expression of myosin heavy chain transcripts in 14 different human skeletal muscles. *J Muscle Res Cell Motil* 2001; 22: 647–655.
- Smerdu V, Soukup T. Demonstration of myosin heavy chain isoforms in rat and humans: the specificity of seven available monoclonal antibodies used in immunohistochemical and immunoblotting methods. *Eur J Histochem* 2008; 52: 179–190.
- Stahlberg A, Hakansson J, Xian X, Semb H, Kubista M. Properties of the reverse transcription reaction in mRNA quantification. *Clin Chem* 2004; 50: 509–515.
- Staron RS, Karaondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 1994; 76: 1247–1255.
- Talmadge RJ, Roy RR. Electrophoretic separation of rat skeletal muscle myosin heavy-chain isoforms. *J Appl Physiol* 1993; 75: 2337–2340.
- Untergasser A, Nijveen H, Rao X, Bisseling T, Geurts R, Leunissen JAM. Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3. *Nucleic Acids Res* 2007; 35: W71–W74.
- Vandesompele J, De Preter K, Pattyn F, Poppe B, Van Roy N, De Paepe A, Speleman F. Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome Biol* 2002; 3: RESEARCH0034.
- Willoughby DS, Nelson MJ. Myosin heavy-chain mRNA expression after a single session of heavy-resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 1262–1269.
- Zurmanova J, Soukup T. Comparison of myosin heavy chain mRNAs, protein isoforms and fiber type proportions in the rat slow and fast muscles. *Physiol Res* 2013; 62: 445–453.

# Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women

S. Ellefsen · O. Vikmoen · G. Slettaløkken · J. E. Whist ·  
H. Nygaard · I. Hollan · I. Rauk · G. Vegge ·  
T. A. Strand · T. Raastad · B. R. Rønnestad

Received: 14 November 2013 / Accepted: 21 May 2014 / Published online: 7 June 2014  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

## Abstract

**Purpose** To investigate the effects of strength training on abundances of irisin-related biomarkers in skeletal muscle and blood of untrained young women, and their associations with body mass composition, muscle phenotype and levels of thyroid hormones.

**Methods** Eighteen untrained women performed 12 weeks of progressive whole-body heavy strength training, with measurement of strength, body composition, expression of irisin-related genes (FNDC5 and PGC1 $\alpha$ ) in two different skeletal muscles, and levels of serum-irisin and -thyroid hormones, before and after the training intervention.

**Results** The strength training intervention did not result in changes in serum-irisin or muscle FNDC5 expression, despite considerable effects on strength, lean body mass (LBM) and skeletal muscle phenotype. Our data indicate that training affects irisin biology in a LBM-dependent manner. However, no association was found between steady-state serum-irisin or training-associated changes in serum-irisin and alterations in body composition. FNDC5 expression was higher in *m.Biceps brachii* than in *m.Vastus lateralis*, with individual expression levels being closely correlated, suggesting a systemic mode of transcriptional regulation. In pre-biopsies, FNDC5 expression was correlated with proportions of aerobic muscle fibers, a relationship that disappeared in post-biopsies. No association was found between serum-thyroid hormones and FNDC5 expression or serum-irisin.

**Conclusion** No evidence was found for an effect of strength training on irisin biology in untrained women, though indications were found for a complex interrelationship between irisin, body mass composition and muscle phenotype. FNDC5 expression was closely associated with muscle fiber composition in untrained muscle.

Communicated by Martin Flueck.

S. Ellefsen, O. Vikmoen, G. Slettaløkken, J. E. Whist, H. Nygaard, I. Hollan, I. Rauk, G. Vegge, T. A. Strand and B. R. Rønnestad member of The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology.

**Electronic supplementary material** The online version of this article (doi:10.1007/s00421-014-2922-x) contains supplementary material, which is available to authorized users.

S. Ellefsen (✉) · O. Vikmoen · G. Slettaløkken · H. Nygaard ·  
G. Vegge · B. R. Rønnestad  
Lillehammer University College, P.O. Box 952,  
2604 Lillehammer, Norway  
e-mail: Stian.ellefsen@hil.no

J. E. Whist · I. Rauk · T. A. Strand  
Innlandet Hospital Trust, Lillehammer, Norway

I. Hollan  
Hospital for Rheumatic Diseases, Lillehammer, Norway

T. Raastad  
Norwegian School of Sport Science, Oslo, Norway

**Keywords** Irisin · FNDC5 · Lean body mass · Fat mass · Muscle fiber · Skeletal muscle · Strength training · Thyroid hormones · Exercise · Myosin heavy chain · MHC · MyHC · mRNA · Real-time RT-PCR · qRT-PCR · Metabolism

## Abbreviations

18S rRNA 18S ribosomal RNA  
 $\beta_2m$   $\beta_2$ -Microglobulin  
 $\beta$ -a  $\beta$ -Actin  
BB *musculus* Biceps brachii  
DXA Dual-energy X-ray absorptiometry

EIA	Enzyme immunoassay
FM	Fat mass
FNDC5	Fibronectin type III domain-containing protein 5
FT3	Free triiodothyronine
FT4	Free thyroxine
GAPDH	Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase
LBM	Lean body mass
MyHC	Myosin heavy chain
PGC1 $\alpha$	Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha
PolR2A	Polymerase (RNA) II (DNA directed) polypeptide A
PPIA	Peptidylprolyl isomerase A (cyclophilin A)
qRT-PCR	Quantitative reverse transcriptase-polymerase chain reaction
RM	Repetition maximum
RPL32	Ribosomal protein L32 (RPL32)
s-irisin	Serum concentrations of irisin
TBP	TATA box binding protein
TSH	Thyroid-stimulating hormone
UBC	Ubiquitin C
VL	<i>musculus Vastus lateralis</i>

## Introduction

The training-associated myokine irisin, which was recently discovered in rodents, has been suggested to play a key role in the somewhat elusive effects of physical activity on health-related parameters in humans. In mice, it leads to browning of adipocytes and reversal of type 2 diabetes (Bostrom et al. 2012), making it a suggestive target for development of therapeutic agents to combat lifestyle-related disease (Enerback 2013). A surge of research activity has thus emerged, attempting to disclose its biological role in human subjects.

In the original paper by Boström et al. (2012), irisin was proposed to play a role in human health and biology, as suggested by expression of the irisin gene fibronectin type III domain-containing protein 5 (FNDC5) in skeletal muscle, abundance of irisin in blood and a twofold induction of steady-state<sup>1</sup> FNDC5 expression following 10 weeks of endurance training. Despite of this, the true importance of irisin in humans remains disputed and controversial. As an example, Timmons et al. (2012) failed to reproduce the training-induced increase in steady-state

FNDC5 expression in a larger cohort of individuals, leading to debate concerning inaccuracies of the current studies, related to both the choice of human subjects and to the choices of methodology for FNDC5 mRNA assessment (Timmons et al. 2012; Boström et al. 2012). This lack of effect of endurance training and/or strength training on FNDC5 expression (Pekkala et al. 2013; Raschke et al. 2013) or irisin serum levels (s-irisin) (Pekkala et al. 2013; Hecksteden et al. 2013) has been confirmed in recent studies, both on the level of steady-state abundances following prolonged training protocols (Pekkala et al. 2013; Raschke et al. 2013; Hecksteden et al. 2013) and on the level of acutely induced expression following single sessions of training (Pekkala et al. 2013). Raschke et al. (2013) even suggested that the human FNDC5 gene represents a pseudogene, in which a mutation in its Kozak consensus sequence prohibits it from being effectively translated into protein. This was apparent despite near-complete conservation of the remainder of the FNDC5 sequence (Raschke et al. 2013), itself suggesting preservation of the biological role.

In contrast to these negative findings, several studies also seem to suggest that irisin is a training-responsive myokine in humans (Huh et al. 2012; Kraemer et al. 2013; Norheim et al. 2014; Lee et al. 2014). These aberrances may of course be caused by per-chance statistical errors or technical flaws, perhaps related to dubious quantification of s-irisin (Raschke et al. 2013; Erickson 2013). However, they may also hint towards between-groups or even between-individuals differences in irisin biology, for which observations have been made (Timmons et al. 2012; Boström et al. 2012; Pekkala et al. 2013). Recently, Lee et al. (2014) revitalized the potential significance of irisin in human medicine by demonstrating its natural induction in response to hypothermia and exercise, in turn inducing browning gene expression programs in adipocytes.

In addition to these uncertainties, several aspects of irisin biology remain to be investigated. To our knowledge, no study has investigated the relationship between irisin biomarkers and variables such as differences in muscle phenotypes in human subjects. In fact, an association with traits such as muscle fiber composition seems likely, as its transcriptional regulator PGC-1 $\alpha$  has been suggested to show muscle fiber-specific expression, being associated with slow fibers in rodents (Lin et al. 2002) and also in humans (Krämer et al. 2006), though the latter remains controversial (Plomgaard et al. 2006; Norrbom et al. 2004). An association between FNDC5 expression and aerobic fibers has indeed been indicated in rodents (Wrann Christiane et al. 2013; Roca-Rivada et al. 2013). Such an association may shed light on the previously observed individual variation in FNDC5/s-irisin abundances (Timmons et al. 2012; Boström et al. 2012; Pekkala et al. 2013; Huh et al. 2012).

<sup>1</sup> Throughout the manuscript, the term “steady-state” refers to gene expression/hormone abundance measured in biological material sampled at rest (in this study: >48 h since last training session).



Moreover, FNDC5 expression may well vary between different groups of muscles, such as those of the upper and lower limbs, which are known to exhibit differences in biology, e.g., they respond differently to strength training (Rønnestad et al. 2007) and exhibit differences in cell biological parameters such as related to androgen signaling (Kadi et al. 2000).

FNDC5 is expressed in a broad range of human tissues (Huh et al. 2012), and its steady-state expression levels in muscle seems to correlate with its levels in adipose tissue (Moreno-Navarrete et al. 2013). Speculatively, this may mean that FNDC5 transcription is regulated in a systemic manner. In this context, the thyroid hormones thyroxine (T4) and triiodothyronine (T3) stand out as intriguing candidates. In addition to being functionally related to irisin, as important regulators of whole-body metabolism, T3 has been shown to lead to increased levels of PGC-1 $\alpha$  protein in skeletal muscle tissue (Irrcher et al. 2003), providing a potential molecular link between T3 and FNDC5. Indeed, T3 supplementation of rats has even been shown to lead to increased levels of FNDC5 expression in brain, constituting one of a mere 149 up-regulated genes (Diez et al. 2008). This connection was partly investigated by Stengel et al. (2013), who assessed the correlation between levels of irisin and thyrotropin/thyroid-stimulating hormone (TSH) in human blood, without finding an association. However, it can be argued that it would have been more appropriate to investigate the relationship between s-irisin and T3/T4 hormones, the ultimate messengers of the thyroid axis.

Our aim with the present study was to reveal effects of 12 weeks of progressive whole-body heavy strength training on expression of FNDC5 and PGC1 $\alpha$  in *musculus* Vastus lateralis (VL) and *musculus* Biceps brachii (BB), and on s-irisin of previously untrained young women. We also aimed to find possible connections between s-irisin and body mass composition, assuming a potential link between training-associated alteration in lean body mass or fat mass and s-irisin. The overall efficacy of the strength training program in altering muscle biology was controlled by measuring muscle strength, lean body mass and muscle fiber composition. Furthermore, we wanted to compare steady-state FNDC5 expression in VL and BB and investigate the potential link between FNDC5 expression and muscle fiber composition. Finally, we aimed to elucidate the potential association between muscular FNDC5 expression or s-irisin levels and serum thyroid hormone. To ensure appropriate analysis of mRNA expression, we performed a thorough analysis of the stability of nine internal reference genes, with their expression patterns being assessed across trained and untrained muscle tissue and across VL and BB biopsies.

**Table 1** Effects of 12 weeks of progressive heavy strength training on anthropometric measures in 17 previously untrained young women

Anthropometrics	Pre	Post
Height (cm)	169 $\pm$ 4.7	N/A
Weight (kg)	69.1 $\pm$ 12	70.1 $\pm$ 12*
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.1 $\pm$ 3.8	24.5 $\pm$ 3.5***
Whole-body lean body mass (LBM, kg)	41.4 $\pm$ 4.3	42.5 $\pm$ 4.2*
Whole-body fat mass (FM, kg)	24.7 $\pm$ 9.7	24.4 $\pm$ 9.7

Effects of training was tested using paired *t* tests. Values are mean  $\pm$  SD

N/A not applicable

\* *p* < 0.05; \*\*\* *p* < 0.001

## Methods

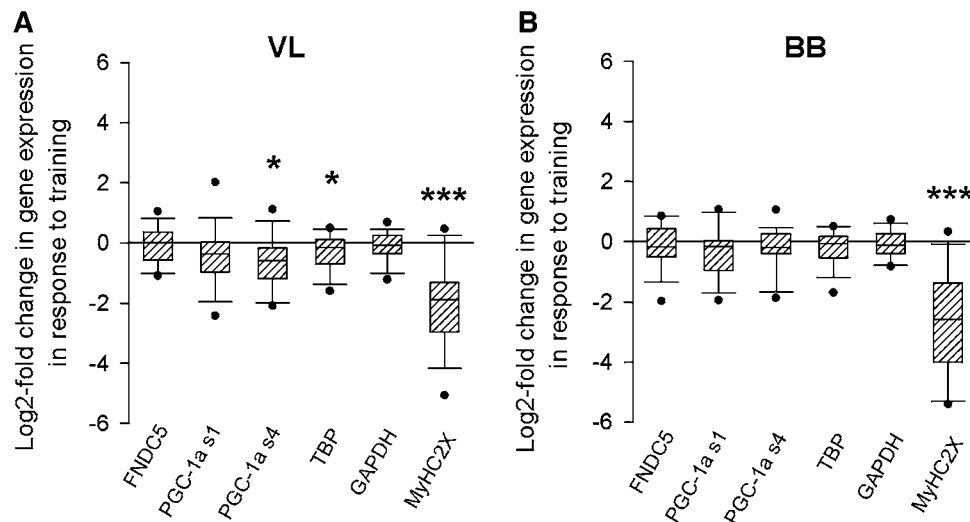
### Ethics statement

The study was approved by the Local Ethics Committee at Lillehammer University College and was performed in accordance with the Helsinki Declaration. Written informed consent was obtained from all subjects prior to study participation.

### Human material and strength training program

#### Muscle biopsies

Muscle biopsies were sampled from VL and BB of 18 previously untrained women (age 26  $\pm$  6 years, see Table 1 for anthropometrics) immediately before and after 12 weeks of progressive strength training, using the Bergstrom procedure as previously described (Hanssen et al. 2012). Biopsies from one subject were excluded from analyses due to aberrant quality of RNA. Subjects were instructed to refrain from physical activity for the last 48 h leading up to biopsy sampling. In connection with post-biopsies, all subjects were set to perform a strength training session in the time window between 48 and 72 h of biopsy sampling. These routines were implemented to ensure downstream assessment of standardized steady-state gene expression, i.e., expression in biopsies sampled at rest, resembling those reported in the premier two papers on the role of irisin in humans (Bostrom et al. 2012; Timmons et al. 2012), while at the same time avoiding inactivity-related declines in muscular properties. Adherence to the routines was ascertained through oral communication. Subjects were instructed to refrain from ingestion of anything other than water for the last 2 h leading up to biopsy sampling. Pre- and post-biopsies were sampled at the same time of day for each particular subject. In VL, pre-biopsies were sampled from an area situated  $\sim$ 1/3 along the



**Fig. 1** Effects of 12 weeks of progressive heavy strength training on steady-state expression of FNDC5, PGC1 $\alpha$  splice variants 1 and 4 (s1 and s4), TBP, GAPDH and MyHC2X in A) *musculus* Vastus lateralis (VL) and B) *musculus* Biceps brachii (BB) of 17 previously untrained young women. Muscle biopsies were sampled before (pre) and after (post) the training period. Data were normalized to PPIA and are presented as gene expression in post-samples relative to pre-samples, measured as log<sub>2</sub>-fold change. Effects of training on gene expression

were tested on log<sub>2</sub>-transformed data using paired *t* tests. However, for PGC1 $\alpha$ -s4, a Wilcoxon signed rank test was utilized, as these data sets still did not pass the Shapiro–Wilk normality test. MyHC2X data were included to demonstrate the efficacy of the training intervention on muscle phenotype and were retrieved from Ellefsen et al. (2014), wherein data on the effects of training on MyHC1 and MyHC2A are also available. \**p* < 0.05; \*\**p* < 0.01; \*\*\**p* < 0.001. Data are presented as *box plots*, with the central line marking the data set median

length of femur, as related to its distal end-point in the knee. In BB, biopsies were sampled from a central area. In both VL and BB, post-biopsies were sampled ~2 cm proximal of pre-biopsies. Biopsies for RNA analyses were immersed immediately in RNAlater<sup>®</sup> (Ambion, Life technologies, Carlsbad, CA, USA) and treated according to manufacturer's protocol before storage at  $-80^{\circ}\text{C}$  until RNA extraction. Biopsies for immunohistochemistry were immersed immediately in 10 % buffered formaldehyde solution (Chemi-teknik AS, Oslo, Norway), wherein they were left to fixate for 3–4 days before further preparation. Blood samples for hormonal analyses were sampled before ( $n = 17$ , i.e., blood samples from one subject was not retrieved) and after ( $n = 12$ ) the strength training period. As for biopsy sampling, subjects were instructed to refrain from physical activity (>48 h) and ingestion of anything other than water (>2 h) for the time period preceding blood sampling. While irisin analyses were performed on the 12 complete sets of blood samples (pre and post), thyroid hormone analyses were performed on the 17 pre-samples. Blood samples were drawn from an antecubital vein into serum-separating tubes and were incubated at room temperature for 30 min before centrifugation at 1,400g for 15 min. Serum were stored at  $-80^{\circ}\text{C}$  until analysis.

#### Strength training protocol

In brief, the training protocol consisted of three weekly bouts of bi-lateral exercise, each consisting of three lower

body exercises (leg press, leg extension and leg curl) and five upper body exercises (seated chest press, seated rowing, latissimus pull-down, biceps curl and shoulder press), performed at 7–10 repetition maximum (RM), in the order listed. For details, see Rønnestad et al. (2007). Notably, the current study was, in addition to being designed to investigate hypotheses such as those related to irisin biology, designed to allow elucidation of differences in training adaptations between one and three sets of strength training. Accordingly, prior to start of training, subjects were randomly allocated into two groups, one of which was set to perform three sets of the lower body exercises and one set of the upper body exercises (3L1U,  $n = 8$ ) throughout the training intervention and one of which was set to perform one set of the lower body exercises and three sets of the upper body exercises (1L3U,  $n = 10$ ). For the sake of the current study, we chose to pool 3L1U and 1L3U data, as evaluated from the following information: (1) the present protocol is known to ensure similar overall training volumes (Rønnestad et al. 2007); (2) none of the biological adaptations, or lack thereof, revealed in the current study differed between 3L1U and 1L3U individuals. For example, the decreased MyHC2X mRNA expression observed in both VL and BB after 12 weeks of strength training (Fig. 1), showed similar magnitudes in 3L1U and 1L3U, amounting to  $-62 \pm 46$  and  $-67 \pm 31$  % in VL, and  $-67 \pm 30$  and  $-72 \pm 37$  % in BB, respectively, with no statistical differences being found between groups (Fig

s3, supplementary); (3) blood samples were only retrieved from a limited number of subjects post-training intervention ( $n = 6$  in each group), in effect leaving separate 3L1U and 1L3U data sets with low statistical power.

Prior to start of the 12-week training program, each subject was given a supervised familiarization session to ensure proper lifting technique and testing procedures. Throughout the intervention, each training session was preceded by a 5-min general warm-up (cycling or running), followed by two lower body warm-up sets prior to lower body exercises and two upper body warm-up sets prior to upper body exercises, as described in Rønnestad et al. (2007). During each warm-up session, each subject ingested a 50 g Squeezy Recovery bar (Squeezy AS, Loddefjord, Norway), containing 15 g milk protein, ensuring a muscle growth-stimulating nutritional status (Tipton et al. 2001). Training intensity, measured as numbers of RMs, was increased similarly in 3U1L and 1L3U, as described in Rønnestad et al. (2007): weeks 1–2, 10RM; weeks 3–5, 8RM; weeks 6–12, 7RM. Subjects were encouraged to continuously increase their RM loads throughout the training program and were allowed assistance on the last repetition of each training set. During the first 2 weeks of training, all training sessions were conducted under supervision from authorized personnel. Thereafter, a minimum of one training session a week was conducted under supervision. To further ensure adequate training efforts, subjects were divided into training groups of three, performing their training together, in effect also improving the safety aspect of the training. Adequate training progression was ensured through continuous monitoring of training diaries and close dialog with subjects. To achieve modified daily undulating periodization, subjects were instructed to reduce training loads by ~10 % in the second training session of each week (Rønnestad et al. 2007).

### *1RM testing*

Effects of the training period on muscle strength were measured as changes in 1RM performance in leg extension and seated chest press. For the sake of the current study, these two outcome measures were combined into a single measure of overall lower and upper body performance. Prior to the 1RM testing session, subjects were given a familiarization session to ensure proper lifting technique and testing procedures. During this session, the load was gradually increased to allow estimation of a proper starting point for the test session. The 1RM test session was separate from the familiarization session or the last training session (post-testing) by approximately 72 h. Prior to performing the actual 1RM tests, subjects were given a 10-min low-intensity warm-up on an ergometer cycle. Subjects were instructed to refrain from food intake for the 2 h

leading up to the test session, but were allowed to ingest water. In addition, each of the two test procedures were preceded by specific warm-up, consisting of three sets with gradually increasing load (40, 75 and 85 % of expected 1RM) and decreasing number of repetitions (10 → 6 → 3). In both 1RM tests, the first attempt was performed with a load ~5 % below the expected 1RM. If the lift was successful, the load was increased by ~5 % or by an amount subjectively decided by the investigator. The test was terminated when the subjects failed to lift the load in 2–3 attempts. Subjects were given a 3-min rest between test efforts. The test order was the same pre and post and 1RM testing was overseen by the same investigator for any given subject. Pre- and post-tests were conducted using the same equipment, with identical subject/equipment positioning, and if possible at the same time of day.

### *Body composition*

Effects of training on body composition measured as amounts of lean body mass (LBM, kg) or fat mass (FM, kg) was assessed using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), using a Prodigy Advance (Lunar, San Francisco, CA, USA), according to manufacturer's protocol. Subjects were instructed to refrain from physical activity for the 48 h leading up to DXA scanning and were instructed to refrain from ingesting any food or drinks for the last 2 h.

### *Gene expression*

Gene-specific primers for reference genes and target genes were designed as previously described (Ellefsen et al. 2008, 2014), using Primer3 Plus (Untergasser et al. 2007). For each gene, a three or four primer pairs were designed, with exception of the MyHC genes, for which a minimum of five primer pairs were designed. To avoid genomic contamination from affecting gene expression analyses, every primer pair was either located to span an exon–exon boundary containing a genomic intron > ~1,000 nucleotides or to include at least one primer positioned directly across an exon–exon boundary. Primers were ordered from Thermo Scientific (Waltham, MA, USA) (HPLC-purified; in our hands this level of purification provides primers with much more consistent performance than desalted primers). All primer pairs were tested using the below described qRT-PCR protocol, employing a primer concentration of 100 nM and an annealing temperature of 60 °C. The primer pair showing the lowest  $C_t$  value and at the same time showing distinct melting curves were chosen. Primers sequences are given in the supplementary Table s1.

Total RNA was extracted from muscle biopsies using TRIzol reagent (Invitrogen), as previously described (Ellefsen et al. 2008). Care was taken to remove all remnants of

RNA later from biopsies. Two-hundred and fifty pg external reference gene (mw2060) was added per mg muscle tissue prior to homogenization. This was done to allow validation of internal reference gene expression on a per-mg-tissue basis, a method developed by Ellefsen et al. (2008) and utilized in numerous studies (e.g., Ellefsen et al. 2012). RNA quantities were obtained using Nanodrop (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA), whereupon reverse transcription was performed on 500 ng total RNA using Superscript III Reverse Transcriptase (Invitrogen), primed with both random hexamers (Ambion, Life technologies, Carlsbad, CA, USA) and oligo d(T) (Ambion, Life technologies, Carlsbad, CA, USA), according to manufacturer's protocol. For each sample, duplicate cDNA syntheses were performed.

Quantitative real-time PCR (qRT-PCR) was performed on 1/30 dilutions of cDNA using either PerfeCTa<sup>®</sup> SYBR<sup>®</sup> Green FastMix<sup>®</sup> (Quanta Biosciences Inc., Gaithersburg, MD, USA) or SYBR<sup>®</sup> Select Master Mix (Invitrogen, Life technologies, Carlsbad, CA, USA) and the 7500 Fast Real-Time PCR System (Applied Biosystems, Life technologies, Carlsbad, CA, USA). For PerfeCTa<sup>®</sup>-based reactions, cycling consisted of an initial denaturation step at 94 °C for 30 s, followed by 39 repeats of 94 °C for 3 s and 60 °C for 30 s. For SYBR<sup>®</sup> Select Master Mix-based reaction, cycling consisted of initial UDG-activation at 50 °C for 2 min, followed by denaturation at 95 °C for 2 min and 39 repeats of 94 °C for 3 s and 60 °C for 30 s. For each cDNA synthesis one qRT-PCR reaction was performed for each gene, meaning that two qRT-PCR reactions were performed per muscle biopsy per gene. For each qRT-PCR reaction, cycle threshold ( $C_t$ ) was calculated using the 7500 Fast Real-Time PCR System software in an automated manner and priming efficiencies ( $E$ ) were calculated using the LinRegPCR software (Ramakers et al. 2003; Ruijter et al. 2009). For final calculations of target gene expression average priming efficiencies were utilized, calculated separately for each primer pair. Calculations of target gene expression was performed as described by Ellefsen et al. (2008) and Ellefsen and Stensløkken (2010), depending on whether PPIA-normalization or Gene-family profiling were employed. Average  $E$  and  $C_t$  values are given for each primer pair in the supplementary Table s1.

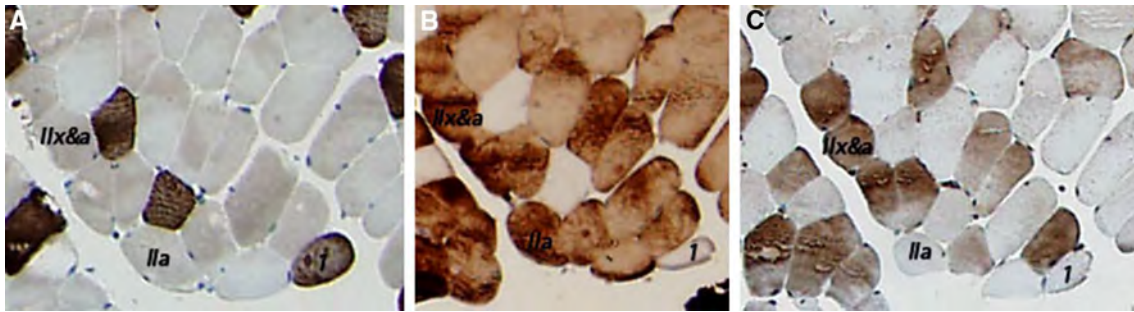
In order to identify the most suitable internal reference gene, hence achieving accurate normalization of target gene expression, GeNorm (Vandesompele et al. 2002) was utilized to evaluate the geometric expression stability of nine frequently utilized reference genes:  $\beta_2$ -microglobulin ( $\beta_2m$ ), peptidylprolyl isomerase A (PPIA, cyclophilin A), TATA box binding protein (TBP), glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH),  $\beta$ -actin ( $\beta$ -a), ubiquitin C (UBC), polymerase (RNA) II (DNA directed) polypeptide A (PolR2A), ribosomal protein L32 (RPL32) and 18S ribosomal RNA (18S rRNA).  $\beta_2m$  and PPIA was evaluated to

be the two most stable reference genes (Fig. s1, supplementary), with an  $M$  value well below the limit set by Vandesompele et al. (2002), whereupon PPIA was chosen for downstream target gene analyses, performed according to principles outlined in Ellefsen et al. (2008). PPIA's expression stability was confirmed on a per-mg-tissue basis across all four experimental groups (untrained and trained VL and untrained and trained BB), using the external reference gene mw2060 for normalization (Fig. s2, supplementary) (Ellefsen et al. 2008). Furthermore, to provide further insight into how strength training affected the expression of excluded reference genes, PPIA-normalized expression of GAPDH and TBP are presented in Fig. 1. While GAPDH expression did not display any training-associated alterations, TBP displayed decreased expression in VL (Fig. 1) ( $p < 0.05$ ). Notably, these two reference genes were the first and the last, respectively, to be evaluated as unstable and thus excluded during GeNorm analyses (Fig. s1, supplementary). In practice, this means that they were evaluated as the least stable and the third most stable reference gene, respectively.

MyHC mRNA composition was calculated using the Gene-family profiling approach developed by Ellefsen and Stensløkken (2010) and Ellefsen et al. (2014). This approach provides a normalization-free alternative to reference gene-based normalization by treating individual genes as constituting fractions of collective Gene-family expression, thereby increasing the physiological relevance of mRNA data. The approach seems particularly well-suited for MyHC mRNA-based fiber-typing in skeletal muscle tissue (Ellefsen and Stensløkken 2010), for which it was recently validated by our group (Ellefsen et al. 2014). Notably, this validation study was performed on the very same biopsy material that were analyzed in the current study. Hence, the MyHC data utilized in Figs. 1, 4 and 5 have been presented elsewhere, though in a different context and, except for those in Fig. 1, in a different format. Here, they are included to shed light on FNDC5 and PGC1 $\alpha$  expression patterns.

## Immunohistochemistry

Formalin-fixed muscle biopsies were paraffin-embedded and sectioned, whereupon transverse, serial sections were labeled for MyHC1 (A4.840), MyHC2A (EPR5280) and MyHC2X (6H1), as previously described (Ellefsen et al. 2014). For images showing representative labeling, see Fig. 2. Determination of muscle fiber composition was based on analysis of a minimum of 200 fibers, as recommended by Blomstrand and Ekblom (1982), performed using Photoshop CS5 Extended (Adobe, San Jose, CA, USA). Unfortunately, of the 18 subjects for which we had complete sets of biopsies for RNA-analysis from VL and BB (pre and post), we only had 16 complete sets of



**Fig. 2** Representative labeling of myosin heavy chains in serial sections of human skeletal muscle using antibodies towards **a** MyHC1 (*A4.840*), **b** MyHC2A (*EPR5280*), and **c** MyHC2X (*6H1*) (Ellefsen et al. 2014)

biopsies for immunohistochemical analysis. Of these, we were only able to retrieve complete sets of MyHC-labeled serial tissue sections (1 + 2A + 2X) for 11 and 12 subjects in VL and BB, respectively, as reported in Ellefsen et al. (2014). This was due to an issue with the performance of the 6H1-antibody, possibly linked to the combined fragility of the antibody and high levels of intramuscular fatty acids, distorting tissue preparation.

#### Hormone assessment

S-irisin was measured using an enzyme immunoassay-kit (EIA, catalog #EK 067-29, Phoenix Pharmaceuticals Inc., Burlingame, CA, USA), according to protocol supplied by manufacturer. All measurements were performed in duplicates and within one plate. S-irisin was determined by extrapolation to a standard curve using the curve-fitting procedure in GraphPad<sup>®</sup> Prism6 (Graphpad Software, San Diego, CA, USA).

Serum concentrations of free triiodothyronine (FT3), free thyroxine (FT4) and thyrotropin (s-TSH) were measured on a Cobas e 601 analyzer (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany), using analytical kits from Elecsys (Roche Diagnostics GmbH, Mannheim, Germany). Reference intervals were: s-TSH 0.27–4.2 mIU/L, FT3 3.1–6.8 pmol/L, and FT4 10.0–22.0 pmol/L. Coefficients of variation (%) for analyses were as follows: 1.0 (s-TSH), 2.8 (FT3), and 1.6 (FT4).

#### Statistics

Prior to statistical testing, gene expression data and hormone abundance data were log<sub>2</sub>-transformed, performed on factorized raw data (100×). This was done to maximize the likelihood of normal distribution. However, for data representing values ranging from 0 to 1, such as muscle fiber composition and gene expression measured as VL–BB<sub>combined</sub> (explained below), square-root arcsine-transformation was performed, representing the recommended

mode of transformation for proportional data between –1 and 1 (Dytham 2011).

For correlation analyses performed between serum concentrations of systemic hormones and muscular expression of FNDC5 expression, we developed a systemic indicator of FNDC5 expression, rather than utilizing distinct BB and VL data, following the principle underlying the performance factor developed in Vegge et al. (2012). First, individual FNDC5 expression data from VL or BB were ranked by dividing them with the individual showing the highest FNDC5 expression in each of the data sets, which thus was set to 1.0. Then, intra-individual VL and BB values were added together and divided by two, providing a combined measure of VL and BB expression, which we termed VL–BB<sub>combined</sub>. This approach resulted in ranking of systemic FNDC5 expression between individuals in a manner that was not skewed by differences in expression between VL and BB. Prior to statistical testing, VL–BB<sub>combined</sub> FNDC5 expression data were arcsine-transformed, as previously described.

Effects of training on gene expression in VL and BB and serum s-irisin were tested on log<sub>2</sub>-transformed data using two-tailed paired samples *t* tests. For paired data that did not pass the Shapiro–Wilk test for normality, a Wilcoxon signed rank test was performed. Comparison of baseline gene expression between VL and BB was performed on log<sub>2</sub>-transformed data using unpaired Student's *t* tests. For unpaired data that did not pass the Shapiro–Wilk test for normality, a Mann–Whitney rank sum test was performed. Data are presented as log<sub>2</sub>- or arcsine-transformed in figures or tables, appearing as mean ± SD or box plots, unless otherwise stated. Data are presented in their original formats in the text, appearing as mean ± SD. *p* < 0.05 was considered significant; *p* < 0.10 was considered a tendency.

Correlation analyses were performed on log<sub>2</sub>-transformed, arcsine-transformed or non-transformed raw data using Pearson correlation. For statistically significant correlations (*p* < 0.05), correlation coefficients (*r*) were interpreted according to Hopkins et al. (2009): *r* < 0.1 = trivial,

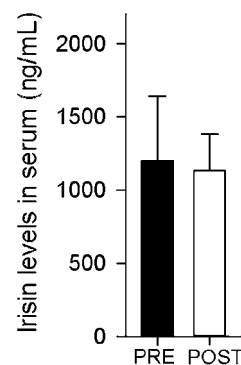
0.1–0.3 = small, 0.3–0.5 = moderate, 0.5–0.7 = large, 0.7–0.9 = very large, 0.9 = nearly perfect, and 1.0 = perfect. Correlation coefficients are presented with 95 % confidence intervals (CI) in figures or in the text. Data are presented as individual values. Statistical calculations were performed using Excel (Microsoft, Redmond, WA, USA) or Sigmaplot 12.5 (Systat Software Inc, San Jose, CA, USA).

## Results

### FNDC5, irisin and responses to strength training

Twelve weeks of progressive whole-body heavy strength training did not lead to alterations in steady-state FNDC5 expression (Figs. 1; s3) or steady-state s-irisin (Fig. 3) in the 3L1U group, the 1L3U group or when the groups were pooled. The lack of training-associated alterations was apparent despite large alterations in muscle phenotype, as evident from a  $38 \pm 14$  % increase in overall upper and lower body muscle strength ( $p < 0.001$ ), a  $2.7 \pm 4.3$  % increase in whole-body LBM (equivalent to  $1.1 \pm 4.3$  kg) ( $p < 0.05$ ) (Table 1), and  $-65 \pm 37$  and  $-70 \pm 33$  % decreases in MyHC2X mRNA in VL and BB, respectively ( $p < 0.001$ ) (Fig. 1). None of these adaptations to strength training differed between the two training protocols. The efficacy of the training program with respect to muscle fiber conversion was comparable to those seen in other studies (Staron et al. 1994; Adams et al. 1993), evident as stable MyHC1 abundances and increased MyHC2A abundances, as discussed in Ellefsen et al. (2014). No effect of training was observed on whole-body FM (Table 1), with individual responses varying from  $-14$  to  $+15$  %. In VL, steady-state expression of the classic PGC1 $\alpha$ -s1 variant tended to decrease by  $-8 \pm 86$  % in post-intervention biopsies ( $p = 0.06$ ), while the hypertrophy-associated PGC1 $\alpha$ -s4 variant (Ruas Jorge et al. 2012) decreased by  $-22 \pm 49$  % ( $p < 0.05$ ) (Fig. 1). In BB, no effect was seen of training on expression of PGC1 $\alpha$  (Fig. 1).

Although no general effect was found of training on s-irisin, effects seemed to be present at the individual level, with responses varying from  $-36$  to  $+104$  %. These responses correlated negatively with LBM, as measured both pre- and post-strength training intervention ( $r = -0.60$ , CI  $-0.87, -0.07$ ;  $r = -0.69$ , CI  $-0.90, -0.22$ ) (Table 2), posing a role for amounts of muscle mass in determination of training-associated s-irisin responses. Indeed, the 50 % of subjects ( $n = 6$ ) showing lowest LBM, displayed  $23 \pm 40$  % ( $p < 0.05$ ) increases in s-irisin, while the other half of subjects, showing highest LBM ( $n = 6$ ), displayed  $-16 \pm 10$  % ( $p < 0.05$ ) decreases. Notably, these individual changes in s-irisin were largely correlated with



**Fig. 3** Effects of 12 weeks of progressive heavy strength training on steady-state serum concentrations of irisin (s-irisin) in 12 previously untrained young women. Blood samples were sampled in a rested state before (pre) and after (post) the training intervention period. The effect of training on s-irisin was tested using log<sub>2</sub>-transformed data and a paired *t* test. No effect was revealed. Values are mean  $\pm$  SD

changes in muscular FNDC5 expression ( $r = 0.65$ , CI 0.12, 0.89) (Table 3). No association was found between changes in s-irisin and amounts of FM or training-associated changes in amounts of FM.

Steady-state s-irisin was found to correlate with body mass. This was evident as tendencies towards positive correlations between s-irisin and pre-LBM and pre-FM ( $r = 0.53$ , CI  $-0.03, 0.84$ , and  $r = 0.52$ , CI  $-0.04, 0.83$ ), and a large positive correlation with post-FM ( $r = 0.62$ , CI 0.10, 0.87) (Table 2).

### FNDC5 expression and its association with muscle phenotype

Steady-state FNDC5 expression was found to be  $44 \pm 50$  % higher in BB than in VL (Fig. 4a;  $p < 0.01$ ), as measured in untrained baseline biopsies. This difference was found despite the evident stability of PPIA expression, as evaluated both on a per-mg-tissue basis and using geNorm (Figs. s1 and s2, supplementary). Also, no differences were found in expression of TBP, GAPDH and MyHC1 and 2X between BB and VL (Fig. 4a), while MyHC2A displayed lowered expression in BB ( $-32 \pm 28$  %,  $p < 0.01$ ) (Fig. 4a). Notably, FNDC5 expression levels in BB showed very large correlation with FNDC5 expression levels in VL ( $r = 0.75$ ) (Fig. 4b).

In baseline VL samples, FNDC5 expression showed very large correlations with MyHC1 muscle fiber abundances, using both immunohistochemistry- ( $r = 0.78$ ) and GeneFam-determined fiber-typing ( $r = 0.75$ ) (Fig. 5a). Conversely, FNDC5 showed a very large negative correlation with MyHC2X phenotype ( $r = -0.78$  and  $r = -0.85$ , respectively) (Fig. 5a). In VL, no association was found between FNDC5 expression and MyHC2A phenotype

**Table 2** Relationship between steady-state serum concentrations of irisin (s-irisin) and lean body mass (LBM; kg) or fat mass (FM; kg), measured before (PRE) and after (POST) 12 weeks of progressive heavy strength training in 12 previously untrained young women

		Pre				Post				Rel. change			
		LBM		FM		LBM		FM		LBM		FM	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Pre	s-irisin	0.53	<0.10	0.52	<0.10	N/A				0.20	NS	0.01	NS
Post	s-irisin	N/A				0.35	NS	0.62	<0.05	0.13	NS	0.25	NS
Rel. change	s-irisin	-0.60	<0.05	-0.39	NS	-0.69	<0.05	-0.36	NS	-0.22	NS	0.20	NS

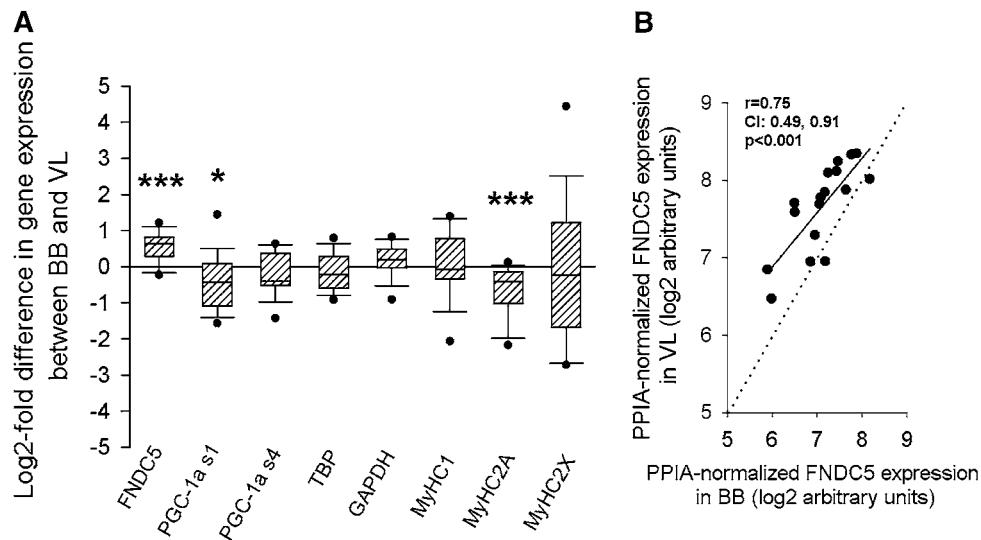
Correlation analyses were performed using log<sub>2</sub>-transformed irisin data and non-transformed anthropometric data using Pearson correlation (*r*)  
*Rel. change* relative change in FNDC5 or irisin abundances between PRE and POST samples, *NS* non-significant, *N/A* not applicable

**Table 3** Relationship between steady-state FNDC5 expression in VL–BB<sub>combined</sub> and steady-state serum concentrations of irisin (s-irisin), measured before (PRE) and after (POST) 12 weeks of progressive heavy strength training in 11 previously untrained young women

		Pre		Post		Rel. change	
		s-irisin		s-irisin		s-irisin	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Pre	FNDC5 BB–VL <sub>combined</sub>	0.01	NS	N/A		-0.25	NS
Post	FNDC5 BB–VL <sub>combined</sub>	N/A		-0.51	NS	0.46	NS
Rel. change	FNDC5 BB–VL <sub>combined</sub>	-0.50	NS	-0.19	NS	0.65	<0.05

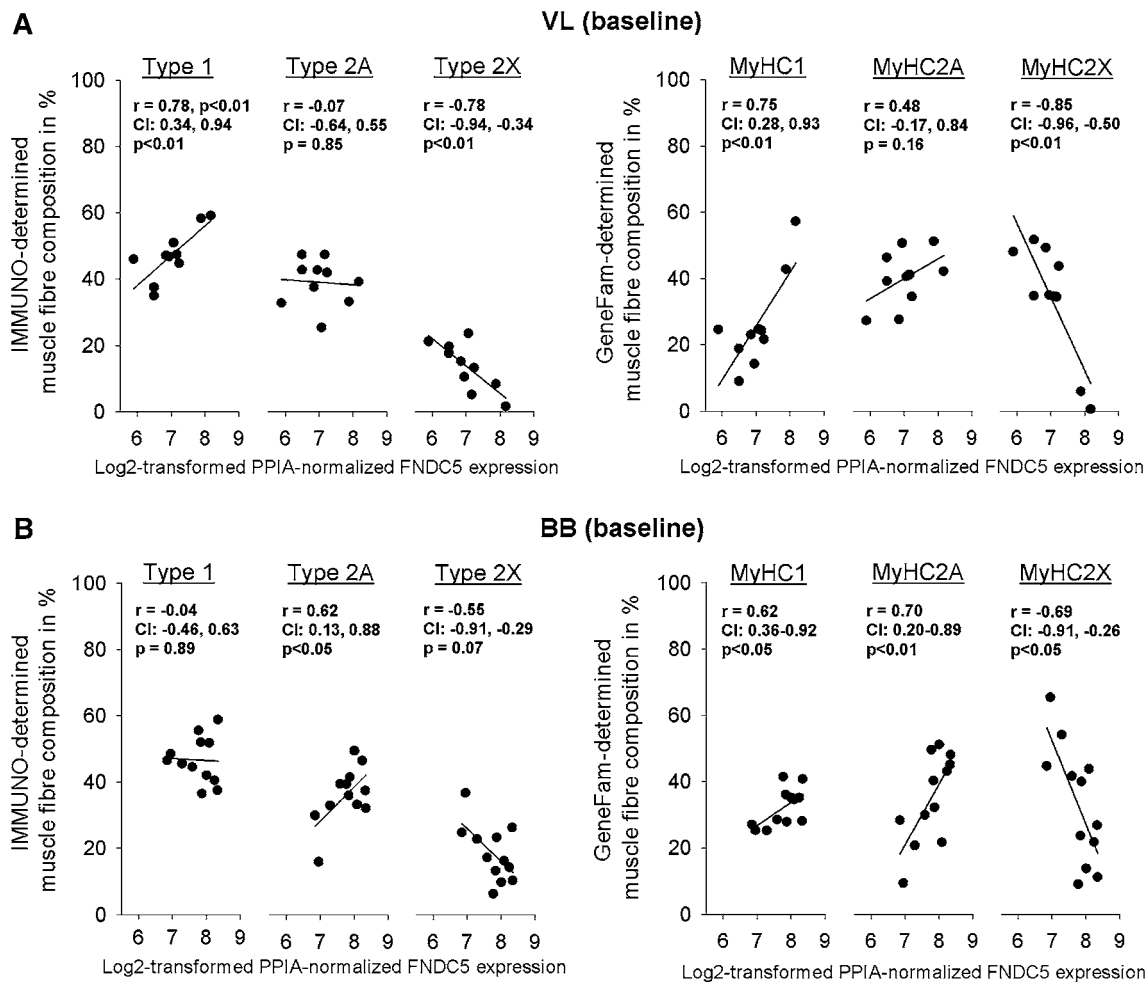
VL–BB<sub>combined</sub> expression was calculated by combining gene expression data from *musculus* Vastus lateralis (VL) and *musculus* Biceps brachii (BB) of each subject (see “Methods”). Correlation analyses were performed on arcsine-transformed FNDC5 data and log<sub>2</sub>-transformed irisin data using Pearson correlation (*r*)

*Rel. change* relative change in FNDC5 or irisin abundances between PRE and POST samples, *NS* non-significant, *N/A* not applicable



**Fig. 4 a** Comparison of steady-state expression of FNDC5, PGC1α splice variants 1 and 4 (s1 and s4), TBP, GAPDH and MyHC1, 2A and 2X between *musculus* Vastus lateralis (VL) and *musculus* Biceps brachii (BB) in 17 untrained young women. Muscle biopsies were sampled before the onset of the training intervention (pre). Data sets were normalized to PPIA, and were then referenced to VL values, which were set to 1.0, and log<sub>2</sub>-transformed. Data are presented as log<sub>2</sub>-difference in gene expression between VL and BB, with VL being set as the point of reference. Effects of muscle type on gene expression levels were tested using Student’s *t* tests. However, for

GAPDH and MyHC1, 2A and 2X, a Mann–Whitney rank sum test was utilized, as these data sets still did not pass the Shapiro–Wilk normality test. \**p* < 0.05; \*\*\**p* < 0.001. Data are presented as *box plots*, with the central line marking the data set median. **b** Relationship between steady-state FNDC5 expression in untrained pre-VL and BB. The correlation analysis was performed using log<sub>2</sub>-transformed data and Pearson correlation. CI denotes the 95 % confidence interval of Pearson *r*. Values are individual. The *solid line* illustrates the trend line, while the *dotted line* indicates a perfect 1:1 slope



**Fig. 5** Correlation between steady-state expression of FNDC5 and muscle fiber composition in pre-intervention **a** *musculus Vastus lateralis* (VL) and **b** *musculus Biceps brachii* (BB) of 10 and 12 untrained young women, respectively. Muscle fiber composition was measured using either immunohistochemistry (IMMUNO) or Gene-family profiling (GeneFam), as described by Ellefsen et al. (2014). Correlation analyses were performed using arcsine-transformed IMMUNO- and GeneFam-determined MyHC data and log<sub>2</sub>-transformed FNDC5 data

(Fig. 5a). In baseline BB samples, FNDC5 expression showed a large correlation with MyHC1 muscle fiber composition, determined using GeneFam ( $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ) (Fig. 5b), and large and very large correlations with MYHC2A abundances, determined using immunohistochemistry ( $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ) and Genefam ( $r = 0.70$ ,  $p < 0.01$ ) (Fig. 5b). Conversely, a very large negative correlation was found between FNDC5 expression and MyHC2X composition, determined using GeneFam ( $r = -0.70$ ,  $p < 0.05$ ) (Fig. 5b), with a tendency towards a negative correlation using immunohistochemistry ( $r = -0.55$ ,  $p = 0.07$ ). In both VL and BB, the relationship between FNDC5 expression and muscle fiber composition disappeared in post-training biopsies.

using Pearson correlation. CI denotes the 95 % confidence interval of Pearson  $r$ . Values are individual. The *solid line* illustrates the trend line. A separate set of correlation analyses was performed on post-intervention biopsies sampled after 12 weeks of progressive strength training (not shown in the figure). In these analyses, no correlation was found between FNDC5 expression and muscle fiber composition, either in VL or BB or using IMMUNO or GeneFam, with  $r$  values ranging from  $-0.38$  to  $0.38$

FNDC5, irisin and their association with thyroid hormones

No correlation was found between concentrations of thyroid hormone in serum and muscular FNDC5 expression or s-irisin, as investigated using pre-intervention biopsies and blood samples (Table 4). Notably, a tendency towards a negative correlation was observed between FT4 and FNDC5 expression (Table 4).

## Discussion

In this study, we show that 12 weeks of progressive heavy strength training has no effect on muscular expression of



**Table 4** Relationships between steady-state serum concentrations of thyroid hormones and PPIA-normalized FNDC5 expression in VL–BB<sub>combined</sub> or steady-state serum concentrations of irisin (s-irisin) from 17 and 12 untrained young women (sampled before the training intervention), respectively

		FNDC5		s-irisin	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Serum	FT3	−0.36	NS	0.17	NS
	FT4	−0.48	<0.10	−0.09	NS
	s-TSH	0.18	NS	−0.29	NS

VL–BB<sub>combined</sub> expression was calculated by combining gene expression data from *musculus* Vastus lateralis (VL) and *musculus* Biceps brachii (BB) of each subject (see “Methods”). Correlation analyses were performed using arcsine-transformed FNDC5 data and log<sub>2</sub>-transformed irisin/thyroid data using Pearson correlation (*r*)

NS non-significant, FT3 serum concentrations of free triiodothyronine, FT4 serum concentrations of free thyroxine, s-TSH serum concentrations of thyrotropin

FNDC5 in lower or upper body muscle (VL or BB) or on s-irisin in previously untrained young women, despite evidence for extensive alterations in skeletal muscle phenotype, as suggested by increased muscle strength, increased LBM and decreased abundances of MyHC2X mRNA. The latter was recently shown to be accompanied by increased abundances of MyHC2A (Ellefsen et al. 2014). Furthermore, we found FNDC5 expression to be closely correlated with proportions of aerobic muscle fibers in untrained (pre) but not in trained (post) muscle, suggesting that strength training has an intricate effect on irisin biology. Such a lack of a general training-associated FNDC5/irisin response was accompanied by a lack of PGC1 $\alpha$  expression, and is in agreement with recent studies showing that neither acute training sessions nor prolonged periods of endurance training and/or strength training has an effect on FNDC5 expression (Timmons et al. 2012; Pekkala et al. 2013; Raschke et al. 2013) or irisin secretion (Hecksteden et al. 2013; Pekkala et al. 2013) in men/mixed gender groups, in turn contrasting the premier data presented by Bostrom et al. (2012). Importantly, as our data was sampled from subjects in a rested state, the current data does not make feasible analyses of effects of acute training sessions on FNDC5 expression or s-irisin.

#### Irisin and body mass composition in humans

Studying the role of irisin in human material may not be straight-forward. After all, it seems likely that s-irisin and its biological functionality is regulated through a diversity of signaling pathways, and not only those affected by training. This would make it hard to assess irisin biology using simple descriptive approaches. As

such, our data suggest that untrained and trained subjects display different modes of regulation of s-irisin. In untrained subjects (pre-intervention data), a positive relationship was found between amounts of LBM and FM and s-irisin, suggesting that quantities of adipocytes and muscle cells may be an important determinant of irisin secretion, perhaps in a housekeeping-resembling manner. This does not seem unreasonable, as irisin has been shown to act as both a myokine and an adipokine (Roca-Rivada et al. 2013). Indeed, similar correlations have been previously found between s-irisin and measures of muscle mass (Stengel et al. 2013; Huh et al. 2012), FM (Stengel et al. 2013) and BMI (Huh et al. 2012; Stengel et al. 2013). In the trained state on the other hand, the correlation between LBM and s-irisin seemed to disappear, while the positive relationship with FM was retained. Arguably, strength training thus seems to affect regulation of irisin secretion in skeletal muscle fibers but not in adipocytes. This can be argued to have a logical rationale that is likely linked to the complex biological cues imposed on muscle cells by training. This may be further linked to the simultaneous disappearance of an association between FNDC5 expression and muscle fiber composition.

The seemingly complex regulation of irisin biology in humans is further underlined by a strong, negative correlation between training-associated changes in s-irisin and amounts of muscle mass, measured as LBM. In our data set, this was evident as decreased s-irisin with training in individuals with larger amounts of muscle mass and increased s-irisin in those with smaller amounts of muscle mass. This unexpected relationship is not readily accounted for. However, it may be linked to a training-associated interaction between irisin and muscle fibers, somehow resulting in its removal from the blood stream. With respect to this, irisin has been shown to interact with muscle cells in vitro (Vaughan et al. 2014). Alternatively, it may be linked to a higher order of training-associated regulation, perhaps mediated through systemic factors. Irrespective of the underlying mechanism, the relationship suggests that s-irisin is conditionally controlled by training in humans, as was also suggested by Novelle et al. (2013), emphasizing that there is more to irisin biology than can be concluded from population-based studies. Importantly, the relationship between training-associated changes in s-irisin and LBM was insensitive to the type of strength training protocol, as it was equally prominent in combined 3L1U/1L3U data as it was in separate 3L1U and 1L3U data, despite very low statistical powers of these latter analyses ( $n = 6$  in each group, data not shown).

The marked individual variation in steady-state s-irisin or training-associated alterations in s-irisin showed no

relationship with training-associated changes in amounts of FM. In this regard, it is necessary to note that we did not control for food intake, and no conclusive inferences can be made. However, such a tentative lack of an effect of irisin on fat mass is supported by studies such as Raschke et al. (2013) who did not find an effect of irisin on browning of cultured human adipocytes, and Norheim et al. (2014) who did not find an association between s-irisin and markers of browning in subcutaneous adipocytes in human subjects. Still, a role for irisin in browning of adipocytes in human subjects cannot be ruled out. Different deposits of human adipocyte have been shown to respond differently to irisin exposure (Lee et al. 2014), which may indicate that the negative results presented by Raschke et al. (2013) and Norheim et al. (2014) was an artefact of adipocyte sampling.

#### Irisin, FNDC5 expression and muscle phenotype

At baseline, FNDC5 expression was found to be higher in BB than in VL. This difference was apparent despite similar composition of aerobic vs. glycolytic MyHC mRNA, as well as similar expression of all other genes investigated. This suggests an inherent difference in the capacity to produce irisin between anatomically different muscles. Furthermore, the strong correlation found between FNDC5 expression in VL and BB, in essence implying that individuals with high levels of expression in VL also show high levels of expression in BB, can be taken as an indication for a systemic mode of regulation of FNDC5. This notion is strengthened by a previous observation of an association between FNDC5 expression levels in muscle and adipose tissue (Moreno-Navarrete et al. 2013).

Despite differences in FNDC5 expression between lower body VL and upper body BB at baseline, the two training protocols utilized in the current study, involving either three sets of lower body exercises and one set of upper body exercises or one set of lower body exercises and three sets of upper body exercises, were not found to be associated with differential effects on irisin biology. This was evident as a lack of effects on FNDC5 expression in both VL and BB and s-irisin. This may be due to a type II error, as even subtle changes in design of strength training protocols have previously been found to affect training-associated adaptations following upper body strength exercises (Rønnestad et al. 2011). However, as the study by Rønnestad et al. (2011) was performed on men, its findings may not be relevant to women. Still, it underlines the need for a more thorough assessment of relations between irisin and lower- and upper-body strength training. Importantly, in the current study, 3L1U and 1L3U resulted in similar increases in overall gain in strength and LBM and in similar changes in muscle fiber composition in both VL and BB, suggesting that the two training protocols exerted

comparable effects also on other aspects of global muscle functionality.

Overall, a positive association was found between FNDC5 expression and proportions of aerobic muscle fibers (MyHC1 and 2A) in untrained VL and BB in human subjects. This notion is supported in the literature by an elevated expression of FNDC5 in oxidative muscles in rodents (Wrann Christiane et al. 2013; Roca-Rivada et al. 2013). This may be linked to the fact that low-intensity every-day activities such as walking, which preferentially activate type 1 fibers, may lead to increased nuclear translocation of PGC1 $\alpha$ , in turn leading to the observed fiber-specific FNDC5 expression. Indeed, slow-fiber patterned electrical activity has been shown to be capable of resulting in increased PGC1 $\alpha$  protein abundance in both rodents and humans (Irrcher et al. 2003; Gundersen 2011; Adams et al. 2011). Alternatively, it may point to a housekeeping-resembling manner of regulation of irisin biology, wherein FNDC5 expression and irisin secretion is a passive consequence of muscle fiber composition. Either way, the correlation disappeared in post-intervention biopsies, pointing towards a complex training-associated manner of transcriptional regulation, which may be related to body mass composition, as previously discussed. Moreover, regulation of FNDC5 expression seems to encompass p38 mitogen-activated protein kinase (MAPK), which in turn is known to be controlled through a range of cellular stressors such as pro-inflammatory cytokines (Nebreda and Porras 2000). This essentially puts FNDC5 expression under control of a range of physiological cues, not only exercise.

#### FNDC5 expression and thyroid hormones

In light of both the metabolic role ascribed to irisin and the hypothesized systemic mode for regulating its secretion and expression, the thyroid system seemed a particularly interesting candidate. However, in this study, no association was found between FNDC5 expression in skeletal muscle or s-irisin and serum-thyroid hormones (FT3, FT4 or s-TSH), despite a range of potential interfaces, including similar roles in regulation of basal energy expenditure (Bostrom et al. 2012; Kim 2008) and the fact that T3 supplementation leads to increased PGC1 $\alpha$  protein abundance (Irrcher et al. 2003) and FNDC5 expression (Diez et al. 2008) in rats. This suggests that FNDC5 expression and irisin secretion is not determined by the availability of thyroid hormones. In this context, it is necessary to keep in mind that blood levels of hormones do not necessarily determine biological efficacy, which is also decided by factors such as hormone transport and metabolism, receptor affinity and quantity, as well as transcriptional and translational aspects (Tjørve et al. 2007). Also, muscular expression of FNDC5 tended to show a negative correlation with [FT4]<sub>serum</sub>, emphasizing on the fact that further study is warranted.

## Conclusion

The current study suggests that 12 weeks of whole-body heavy strength training does not alter steady-state expression of FNDC5 in skeletal muscle or levels of s-irisin in previously untrained female subjects. No association was found between s-irisin and changes in body mass composition. This lack of an irisin response is in line with previous findings (Pekkala et al. 2013; Raschke et al. 2013; Hecksteden et al. 2013; Timmons et al. 2012) and was seen despite evidence for extensive training-associated alterations in muscle properties, as suggested from increased LBM and a shift towards an aerobic muscle phenotype. The latter could have been expected to be accompanied by increased overall FNDC5 expression, as proportions of MyHC1/2A fibers was found to be positively correlated with FNDC5 expression in untrained pre-biopsies. This aberrancy may be linked to a complex relationship between body mass composition and regulation of s-irisin, as observed in our data. Although no general effect was seen of training on s-irisin, we found individual s-irisin responses to correlate with FNDC5 expression responses in skeletal muscle. Together with the complex relationship between s-irisin and body mass composition, this suggests that irisin is a conditionally inducible training-responsive myokine in humans. Such a complex pattern of inter-individual variation may leave studies aiming to investigate mean effects of training on irisin biology in groups of individuals with little or no value, at least in healthy controls. This being said, groups of subjects such as those suffering from lifestyle-related diseases like diabetes type II may display a more uniform group-wise response. No evidence was found for an association between skeletal muscle FNDC5 expression and serum-thyroid hormone levels (FT3, FT4 and s-TSH).

**Acknowledgements** This study was supported by grants 203961 and 222717 to SE from the Regional Science Fund—Innlandet, Norway. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. Thanks to Daniel Hammarström for valuable assistance with statistical analyses. Thanks to students Øyvind Skattebo, Knut Sindre Mølmen, Thomas Fenne, Fredrik Lie Haugen, Amund Løvstad, Trine C. Larsen, Gunnar Disch, Eirik F. Langøy and Elisabeth Hildenes for assistance during intervention follow-up and data sampling.

**Conflict of interest** The authors have no conflicts of interest to declare.

## References

- Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA (1993) Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol* 74(2):911–915
- Adams CM, Suneja M, Dudley-Javoroski S, Shields RK (2011) Altered mRNA expression after long-term soleus electrical stimulation training in humans with paralysis. *Muscle Nerve* 43(1):65–75. doi:10.1002/mus.21831
- Blomstrand E, Ekblom B (1982) The needle biopsy technique for fibre type determination in human skeletal muscle—a methodological study. *Acta Physiol Scand* 116(4):437–442. doi:10.1111/j.1748-1716.1982.tb07163.x
- Bostrom P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, Rasbach KA, Bostrom EA, Choi JH, Long JZ, Kajimura S, Zingaretti MC, Vind BF, Tu H, Cinti S, Hojlund K, Gygi SP, Spiegelman BM (2012) A PGC1- $\alpha$ -dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature* 481(7382):463–468. doi:10.1038/nature10777
- Boström P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, Rasbach Kyle A, Boström EA, Choi JH, Long JZ, Kajimura S, Zingaretti MC, Vind BF, Tu H, Cinti S, Højlund K, Gygi SP, Spiegelman BM (2012) Bostrom et al. reply. *Nature* 488(7413):E10–E11. doi:10.1038/nature11365
- Diez D, Grijota-Martinez C, Agretti P, De Marco G, Tonacchera M, Pinchera A, Morreale de Escobar G, Bernal J, Morte B (2008) Thyroid hormone action in the adult brain: gene expression profiling of the effects of single and multiple doses of triiodo-L-thyronine in the rat striatum. *Endocrinology* 149(8):3989–4000. doi:10.1210/en.2008-0350
- Dytham C (2011) Choosing and using statistics: a biologist's guide. Wiley Publishing, New Jersey
- Ellefsen S, Stensløkken KO (2010) Gene-family profiling: a normalization-free real-time RT-PCR approach with increased physiological resolution. *Physiol Genomics* 42(1):1–4
- Ellefsen S, Stensløkken K-O, Sandvik GK, Kristensen TA, Nilsson GE (2008) Improved normalization of real time RT PCR data using an external RNA control. *Anal Biochem* 376(1):83–93. doi:10.1016/j.ab.2008.01.028
- Ellefsen S, Bliksøen M, Rutkovskiy A, Johansen IB, Kaljusto M-L, Nilsson GE, Vaage JI, Stensløkken K-O (2012) Per-unit-living tissue normalization of real-time RT-PCR data in ischemic rat hearts. *Physiol Genomics* 44(12):651–656. doi:10.1152/physiolgenomics.00004.2012
- Ellefsen S, Vikmoen O, Zacharoff E, Rauk I, Sletdaløkken G, Strand TA, Whist JE, Hanestadhaugen M, Vegge G, Fagernes CE, Nygaard H, Hollan I, Rønnestad BR (2014) Reliable determination of training-induced alterations in muscle fibre composition in human skeletal muscle using qPCR. *Scand J Med Sci Sports*. doi:10.1111/sms.12185
- Enerback S (2013) ADIPOSE TISSUE METABOLISM IN 2012 Adipose tissue plasticity and new therapeutic targets. *Nat Rev Endocrinol* 9(2):69–70. doi:10.1038/nrendo.2012.242
- Erickson HP (2013) Irisin and FNDC5 in retrospect: an exercise hormone or a transmembrane receptor? *Adipocyte* 2(4):289–293
- Gundersen K (2011) Excitation-transcription coupling in skeletal muscle: the molecular pathways of exercise. *Biol Rev Camb Philos Soc* 86(3):564–600. doi:10.1111/j.1469-185X.2010.00161.x
- Hanssen KE, Kvamme NH, Nilsen TS, Rønnestad B, Ambjørnsen IK, Norheim F, Kadi F, Hallèn J, Drevon CA, Raastad T (2012) The effect of strength training volume on satellite cells, myogenic regulatory factors, and growth factors. *Scand J Med Sci Sports*. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01452.x
- Hecksteden A, Wegmann M, Steffen A, Kraushaar J, Morsch A, Ruppenthal S, Kaestner L, Meyer T (2013) Irisin and exercise training in humans—results from a randomized controlled training trial. *BMC Med* 11(1):235
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41(1):3–13
- Huh JY, Panagiotou G, Mougios V, Brinkoetter M, Vamvini MT, Schneider BE, Mantzoros CS (2012) FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response

- to weight loss and exercise. *Metabolism* 61(12):1725–1738. doi:[10.1016/j.metabol.2012.09.002](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.09.002)
- Ircher I, Adhietty PJ, Sheehan T, Joseph A-M, Hood DA (2003) PPAR $\gamma$  coactivator-1 $\alpha$  expression during thyroid hormone- and contractile activity-induced mitochondrial adaptations. *Am J Physiol Cell Physiol* 284(6):C1669–C1677. doi:[10.1152/ajpcell.00409.2002](https://doi.org/10.1152/ajpcell.00409.2002)
- Kadi F, Bonnerud P, Eriksson A, Thornell LE (2000) The expression of androgen receptors in human neck and limb muscles: effects of training and self-administration of androgenic-anabolic steroids. *Histochem Cell Biol* 113(1):25–29
- Kim B (2008) Thyroid hormone as a determinant of energy expenditure and the basal metabolic rate. *Thyroid* 18(2):141–144. doi:[10.1089/thy.2007.0266](https://doi.org/10.1089/thy.2007.0266)
- Kraemer RR, Shockett P, Webb ND, Shah U, Castracane VD (2013) A transient elevated irisin blood concentration in response to prolonged, moderate aerobic exercise in young men and women. *Horm Metab Res (EFirst)*. doi:[10.1055/s-0033-1355381](https://doi.org/10.1055/s-0033-1355381)
- Krämer DK, Ahlsén M, Norrbom J, Jansson E, Hjeltnes N, Gustafsson T, Krook A (2006) Human skeletal muscle fibre type variations correlate with PPAR $\alpha$ , PPAR $\delta$  and PGC-1 $\alpha$  mRNA. *Acta Physiol (Oxf)* 188(3–4):207–216. doi:[10.1111/j.1748-1716.2006.01620.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01620.x)
- Lee P, Linderman Joyce D, Smith S, Brychta Robert J, Wang J, Idelson C, Perron Rachel M, Werner Charlotte D, Phan Giao Q, Kamula Udai S, Kebebew E, Pacak K, Chen Kong Y, Celi Francesco S (2014) Irisin and FGF21 Are cold-induced endocrine activators of brown fat function in humans. *Cell Metab* 19(2):302–309. doi:[10.1016/j.cmet.2013.12.017](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.12.017)
- Lin J, Wu H, Tarr PT, Zhang CY, Wu ZD, Boss O, Michael LF, Puigserver P, Isotani E, Olson EN, Lowell BB, Bassel-Duby R, Spiegelman BM (2002) Transcriptional co-activator PGC-1 $\alpha$  drives the formation of slow-twitch muscle fibres. *Nature* 418(6899):797–801. doi:[10.1038/nature00904](https://doi.org/10.1038/nature00904)
- Moreno-Navarrete JM, Ortega F, Serrano M, Guerra E, Pardo G, Tinahones F, Ricart W, Fernández-Real JM (2013) Irisin is expressed and produced by human muscle and adipose tissue in association with obesity and insulin resistance. *J Clin Endocrinol Metab* 98(4):E769–E778. doi:[10.1210/jc.2012-2749](https://doi.org/10.1210/jc.2012-2749)
- Nebreda AR, Porras A (2000) p38 MAP kinases: beyond the stress response. *Trends Biochem Sci* 25(6):257–260. doi:[10.1016/S0968-0004\(00\)01595-4](https://doi.org/10.1016/S0968-0004(00)01595-4)
- Norheim F, Langleite TM, Hjorth M, Holen T, Kielland A, Stadheim HK, Gulseth HL, Birkeland KI, Jensen J, Drevon CA (2014) The effects of acute and chronic exercise on PGC-1 $\alpha$ , irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans. *FEBS J* 281(3):739–749. doi:[10.1111/febs.12619](https://doi.org/10.1111/febs.12619)
- Norrbom J, Sundberg CJ, Ameln H, Kraus WE, Jansson E, Gustafsson T (2004) PGC-1 $\alpha$  mRNA expression is influenced by metabolic perturbation in exercising human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 96(1):189–194. doi:[10.1152/jappphysiol.00765.2003](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00765.2003)
- Novelle MG, Contreras C, Romero-Picó A, López M, Diéguez C (2013) Irisin, two years later. *Int J Endocrinol* 2013:8. doi:[10.1155/2013/746281](https://doi.org/10.1155/2013/746281)
- Pekkala S, Wiklund PK, Hulmi JJ, Ahtiainen JP, Horttanainen M, Pöllänen E, Mäkelä KA, Kainulainen H, Häkkinen K, Nyman K, Alén M, Herzig K-H, Cheng S (2013) Are skeletal muscle FNDC5 gene expression and irisin release regulated by exercise and related to health? *J Physiol*. doi:[10.1113/jphysiol.2013.263707](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.263707)
- Plomgaard P, Penkowa M, Leick L, Pedersen BK, Saltin B, Pilegaard H (2006) The mRNA expression profile of metabolic genes relative to MHC isoform pattern in human skeletal muscles. *J Appl Physiol* 101(3):817–825. doi:[10.1152/jappphysiol.00183.2006](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00183.2006)
- Ramakors C, Ruijter JM, Deprez RH, Moorman AF (2003) Assumption-free analysis of quantitative real-time polymerase chain reaction (PCR) data. *Neurosci Lett* 339(1):62–66
- Raschke S, Elsen M, Gassenhuber H, Sommerfeld M, Schwahn U, Brockmann B, Jung R, Wisløff U, Tjønnå AE, Raastad T, Hallén J, Norheim F, Drevon CA, Romacho T, Eckardt K, Eckel J (2013) Evidence against a beneficial effect of irisin in humans. *PLoS One* 8(9):e73680. doi:[10.1371/journal.pone.0073680](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073680)
- Roca-Rivada A, Castela C, Senin LL, Landrove MO, Baltar J, Crujeiras AB, Seoane LM, Casanueva FF, Pardo M (2013) FNDC5/irisin is not only a myokine but also an adipokine. *PLoS One* 8(4):e60563. doi:[10.1371/journal.pone.0060563](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060563)
- Rønnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T (2007) Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res* 21(1):157–163
- Rønnestad B, Nygaard H, Raastad T (2011) Physiological elevation of endogenous hormones results in superior strength training adaptation. *Eur J Appl Physiol* 111(9):2249–2259. doi:[10.1007/s00421-011-1860-0](https://doi.org/10.1007/s00421-011-1860-0)
- Ruas Jorge L, White James P, Rao Rajesh R, Kleiner S, Brannan Kevin T, Harrison Brooke C, Greene Nicholas P, Wu J, Estall Jennifer L, Irving Brian A, Lanza Ian R, Rasbach Kyle A, Okutsu M, Nair KS, Yan Z, Leinwand Leslie A, Spiegelman Bruce M (2012) A PGC-1 $\alpha$  isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell* 151(6):1319–1331. doi:[10.1016/j.cell.2012.10.050](https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.10.050)
- Ruijter JM, Ramakers C, Hoogaars WMH, Karlen Y, Bakker O, van den Hoff MJB, Moorman AFM (2009) Amplification efficiency: linking baseline and bias in the analysis of quantitative PCR data. *Nucleic Acids Res* 37(6):12. doi:[10.1093/nar/gkp045](https://doi.org/10.1093/nar/gkp045)
- Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS (1994) Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76(3):1247–1255
- Stengel A, Hofmann T, Goebel-Stengel M, Elbelt U, Kobelt P, Klapp BF (2013) Circulating levels of irisin in patients with anorexia nervosa and different stages of obesity—correlation with body mass index. *Peptides* 39:125–130. doi:[10.1016/j.peptides.2012.11.014](https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.11.014)
- Timmons JA, Baar K, Davidsen PK, Atherton PJ (2012) Is irisin a human exercise gene? *Nature* 488(7413):E9–E10. doi:[10.1038/nature11364](https://doi.org/10.1038/nature11364)
- Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR (2001) Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 281(2):E197–E206
- Tjørve E, Tjørve KMC, Olsen JO, Senum R, Oftebro H (2007) On commonness and rarity of thyroid hormone resistance: a discussion based on mechanisms of reduced sensitivity in peripheral tissues. *Med Hypotheses* 69(4):913–921. doi:[10.1016/j.mehy.2006.12.056](https://doi.org/10.1016/j.mehy.2006.12.056)
- Untergasser A, Nijveen H, Rao X, Bisseling T, Geurts R, Leunissen JAM (2007) Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3. *Nucleic Acids Res* 35(suppl 2):W71–W74. doi:[10.1093/nar/gkm306](https://doi.org/10.1093/nar/gkm306)
- Vandesompele J, De Preter K, Pattyn F, Poppe B, Van Roy N, De Paepe A, Speleman F (2002) Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome Biol* 3(7):RESEARCH0034
- Vaughan RA, Gannon NP, Barberena MA, Garcia-Smith R, Bisoffi M, Mermier CM, Conn CA, Trujillo KA (2014) Characterization of the metabolic effects of irisin on skeletal muscle in vitro. *Diabetes Obes Metab*. doi:[10.1111/dom.12268](https://doi.org/10.1111/dom.12268)
- Vege G, Rønnestad B, Ellefsen S (2012) Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. *J Int Soc Sports Nutr* 9(1):14
- Wrann Christiane D, White James P, Salogiannis J, Laznik-Bogoslavski D, Wu J, Ma D, Lin Jiandie D, Greenberg Michael E, Spiegelman Bruce M (2013) Exercise induces hippocampal BDNF through a PGC-1 $\alpha$ /FNDC5 pathway. *Cell Metab* 18(5):649–659. doi:[10.1016/j.cmet.2013.09.008](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.09.008)

## Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists – An effort-matched approach

B. R. Rønnestad<sup>1</sup>, J. Hansen<sup>1</sup>, G. Vegge<sup>1</sup>, E. Tønnessen<sup>2</sup>, G. Slettaløkken<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Section for Sport Science, Lillehammer University College, Lillehammer, Norway, <sup>2</sup>Norwegian Olympic and Paralympic Committee and Confederation of Sports, Oslo, Norway

Corresponding author: Bent R. Rønnestad, PhD, Section for Sport Science, Lillehammer University College, PO Box 952, 2604 Lillehammer, Norway. Tel: +47 61288193, Fax: +47 61288200, E-mail: bent.ronnestad@hil.no

Accepted for publication 18 November 2013

The purpose of this study was to compare the effects of 10 weeks of effort-matched short intervals (SI;  $n = 9$ ) or long intervals (LI;  $n = 7$ ) in cyclists. The high-intensity interval sessions (HIT) were performed twice a week interspersed with low-intensity training. There were no differences between groups at pretest. There were no differences between groups in total volume of both HIT and low-intensity training. The SI group achieved a larger relative improvement in  $VO_{2max}$  than the LI group ( $8.7\% \pm 5.0\%$  vs  $2.6\% \pm 5.2\%$ ), respectively,  $P \leq 0.05$ ).

Mean effect size (ES) of the relative improvement in all measured parameters, including performance measured as mean power output during 30-s all-out, 5-min all-out, and 40-min all-out tests revealed a moderate-to-large effect of SI training vs LI training (ES range was 0.86–1.54). These results suggest that the present SI protocol induces superior training adaptations on both the high-power region and lower power region of cyclists' power profile compared with the present LI protocol.

For well-trained endurance athletes to achieve optimal training stimulus, it is recommended that a certain amount of training is conducted at intensities of 90–100% of maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ; Wenger and Bell 1986; Laursen and Jenkins 2002). However, continuous work at such high intensities cannot be sustained for prolonged periods of time, thus limiting total training time at this intensity during a single training session. The total accumulated time of work at this high intensity during a single session can be increased using various modes of interval programs (MacDougall & Sale, 1981). For a long time, it has been recognized that high-intensity training (HIT) can improve endurance performance (e.g., Shephard, 1968; Fox et al., 1973). HIT can roughly be divided into longer work intervals of ~3–5 min at relatively high exercise intensity (LI) or shorter work intervals (SI) of ~15–45 s at even higher exercise intensity than used during the longer intervals (Tschakert & Hofmann, 2013). Different work over recovery ratios have been used, with 2:1 and 1:1 as the most frequently reported ratio (reviewed in Midgley & McNaughton, 2006; Rozenek et al., 2007).

Both SI (Tabata et al., 1996; Iaia et al., 2008; Gunnarsson & Bangsbo, 2012) and LI (Lindsay et al., 1996; Westgarth-Taylor et al., 1997; Rønnestad et al., 2012) have improved endurance performance or performance-related measurements in endurance-trained participants. Furthermore, the few studies that have

investigated the training effects of both SI and LI in endurance-trained participants report similar improvements with the two HIT protocols (Stepto et al., 1999; Laursen et al., 2005; Helgerud et al., 2007). However, methodological issues such as small sample size, short intervention period, and/or matching training regimens on total energy expenditure makes it somewhat difficult to compare the results. It has been suggested that matching training regimens on energy consumption artificially induces different overall effort between different interval regimens (Seiler et al., 2013). The performance effects of effort-matched SI and LI in cyclists remain, to the best of our knowledge, to be investigated. It has been suggested that the training time  $\geq 90\%$   $VO_{2max}$  could serve as good criteria to judge the effectiveness of the stimulus to improve aerobic fitness (Thevenet et al., 2007). In a recent study, we found that a SI session alternating between 30-s work interval and 15-s recovery until exhaustion induced a longer total time above 90% of  $VO_{2max}$  than a LI session with work intervals of ~4.5 min separated by recovery periods lasting 50% of the work period until exhaustion (Rønnestad & Hansen, 2013). However, the intensity in both sessions was the minimal power that theoretically elicits  $VO_{2max}$  ( $PVO_{2max}$ ) and might not reflect real-world practice. Furthermore, it is difficult to know whether there would be differences in long-term training adaptations between the SI and LI protocol.

Therefore, the primary aim of the present study was to investigate the training adaptations to 10 weeks of effort-matched SI or LI in cyclists. In order to get a picture of the effects of these two training regimes on both the high- and lower power part of a cyclist's power profile, both short-duration and long-duration performance, as well as classical indicators of endurance performance, were investigated. We hypothesized that SI would provide superior effects on both the high- and lower power part of a cyclist's power profile.

## Methods

### Subjects

Twenty male competitive cyclists volunteered for the study. Based on the peak power output, power to weight ratios, and average amount of training hours per week, the cyclists were regarded as trained to well trained (Jeukendrup et al., 2000). The cyclists (age =  $33 \pm 10$  years, height =  $182 \pm 4$  cm, body mass =  $76 \pm 6$  kg) were randomly allocated to a SI group or a LI group. The randomization was stratified by  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Two cyclists from the LI group did not complete the study because of illness whereas one cyclist from each of the groups withdraws from the study without giving a reason, resulting in nine cyclists in the SI group and seven cyclists in the LI group. During the 4 weeks prior to the intervention period, the cyclists recorded their training in a training diary. In this period, the cyclists were free to perform what kind of

Table 1. Duration (in hours per week) of the endurance training performed during the 10-week intervention period in the group that performed short intervals (SI) and the group that performed long intervals (LI)

Intensity zone	SI ( $n = 9$ )	LI ( $n = 7$ )
Intensity zone I (60–82% of $\text{HR}_{\text{max}}$ )	$7.8 \pm 5.9$	$9.7 \pm 3.5$
Intensity zone II (83–87% of $\text{HR}_{\text{max}}$ )	$0.6 \pm 0.2$	$0.7 \pm 0.4$
Intensity zone III (88–100% of $\text{HR}_{\text{max}}$ )	$0.7 \pm 0.3$	$0.6 \pm 0.3$

Values are mean  $\pm$  standard deviation.  
 $\text{HR}_{\text{max}}$ , maximal heart rate.

Table 2. Characteristics of the short-interval (SI) and long-interval (LI) protocols used during the intervention

	SI ( $n = 9$ )	LI ( $n = 7$ )
Duration of work intervals (s)	30	300
Relief duration per series (s)	15	0
Number of work intervals per series	13	1
Total work period per series (s)	$13 \times 30 \text{ s} = 390$	$1 \times 300 \text{ s} = 300$
Total relief period per series (s)	$12 \times 15 \text{ s} = 180$	0
Number of series	3	4
Time between series (s)	180	150
Total work period per session (s)	$3 \times 390 = 1170$	$4 \times 300 = 1200$
Total recovery period per session (s)	$(3 \times 180 \text{ s}) + (2 \times 180 \text{ s}) = 900$	$3 \times 150 = 450$
Intensity during relief/recovery phases	50% of work interval	50% of work interval
Total session time (exclusive warm-up/-down) (s)	$1170 + 900 = 2070$	$1200 + 450 = 1650$
Power output during work intervals (W)	$363 \pm 32^{\dagger}$	$324 \pm 42$
$[\text{La}^-]$ across all work series (mmol/L)	$10.6 \pm 2.5$	$10.0 \pm 3.5$
$[\text{La}^-]$ after last work interval (mmol/L)	$11.4 \pm 2.4$	$10.5 \pm 3.7$
RPE across all work series	$17.8 \pm 0.5$	$17.6 \pm 0.8$
RPE last work series	$18.5 \pm 0.4$	$18.2 \pm 0.4$
Session RPE	$7.8 \pm 0.5$	$7.5 \pm 1.1$

$^{\dagger}$ Larger than LI ( $P < 0.05$ ).

Values are mean  $\pm$  standard deviation.  
 RPE, rate of perceived exertion.

training they wanted. There were no significant differences between the SI group and the LI group in training hours during the 4-week period prior to pretest ( $8 \pm 5$  and  $10 \pm 5$  h training per week, respectively,  $P = 0.6$ ). The majority of this training was low-intensity endurance training, but  $0.3 \pm 0.2$  and  $0.4 \pm 0.3$  h per week, respectively, was HIT. The study was performed according to the ethical standards established by the Helsinki Declaration of 1975 and was approved by the local ethical committee at Lillehammer University College. All cyclists signed an informed consent form prior to participation.

### Training intervention

There was no difference between groups in total training duration or in duration in the different training intensity zones (Table 1). The endurance training was divided into three heart rate (HR) zones: (a) 60–82%, (b) 83–87%, and (c) 88–100% of maximal HR and reported in a training diary. The SI group performed 30-s work intervals separated by 15-s recovery periods continuously for 9.5 min followed by 3-min recovery period. This 9.5-min period was performed three times in one interval session for the SI group. The LI group performed  $4 \times 5$ -min work intervals separate by 2.5-min recovery periods. Thus, the total time of work intervals in one interval session for the SI and LI was 19.5 and 20.0 min, respectively, whereas the total recovery period was 9.0 and 7.5 min, respectively (Table 2). For both groups, power output during the recovery periods was 50% of the power output used during work intervals. Rate of perceived exertion (RPE) was recorded after each interval series using Borg's 6–20 scale (Borg, 1982), and session RPE (Foster, 1998) was obtained 30 min after each interval session. Venous blood samples from the fingertip were analyzed for lactate concentration ( $[\text{La}^-]$ ) after each interval series during the first training week, and thereafter at least every third week. All measurements of  $[\text{La}^-]$  during both training and testing in the present study were performed with the same portable instrument (Lactate Pro LT-1710, Arkay, Inc., Kyoto, Japan). All sessions during the first training week and at least one session every third week in both groups were supervised, and strong verbal encouragement was given by the investigators. Both groups were instructed to perform intervals at their maximal sustainable work intensity, aiming to achieve the highest possible average power output during each interval session. This makes the actual mean

power output of each interval session an indicator of performance level. Similar effort during both the SI and LI training was evident with no difference between groups in  $[La^-]$ , RPE, or session RPE during the interval sessions (Table 2). Despite these evidence for similar efforts between groups, it may be noted a small, nonstatistical significant, and decreased response in the LI group between week 3–4 and 5–6 (Fig. 1). It must be noted that when the duration of work intervals differs as much as in the present investigation and total work time is similar, there will be differences between groups in power output and thus total energy expenditure during the HIT sessions, despite similar effort in the two groups. That being said, similar effort seems to be closer to how athletes typically perform their training (Seiler et al., 2013).

Each interval session started with an individual 15–20-min warm-up that was concluded by two to three submaximal sprints lasting 20–30 s. This room for individual optimizing of the warm-up was given because of different preferences among cyclists. SI and LI training were performed either on the cyclists' own bikes equipped with a power meter (PowerTap SL 2.4, CycleOps, Madison, WI, USA) mounted on the rear wheel and connected to a roller or on an advanced cycle ergometer (Lode Excalibur Sport, Lode B.V., Groningen, The Netherlands). Four cyclists in the SI group performed all their training on private bikes, and to ensure rapid increase and decrease in power output during the SI sessions, they mounted the bike on an electromagnetically braked roller (CompuTrainer Lab™, RacerMate, Inc., Seattle, WA, USA). The remaining five cyclists in the SI group performed their HIT sessions on the Lode test ergometer. All other training was performed on their own bike. In theory, training on the test ergometer could lead to a larger improvement at the posttest due to improved familiarization. However, all cyclists participating in the present study had previous experience with the test ergometer before intervention start, and the ergometer is extremely precise in its possibilities to adjust seating, handle position, crank arm length, and the exact seating position of each rider was saved on the ergometer computer ensuring identical and optimal seating position of each individual rider. All these factors, and the fact that cycling is a rather coordinative easy movement and the cyclists were well trained, contribute to minimize any potential familiarization advantages with performing the HIT sessions on it. This is underlined by the finding of similar improvements in 40-min all-out performance between the subgroup performing HIT sessions on the ergometer and on own bike (11% and 13% improvements, respectively). The individual SI sessions were programmed in the roller and cycle ergometer software. The power output during the first short work intervals was set to  $PVO_{2max}$ . A previous study from our laboratory indicates that

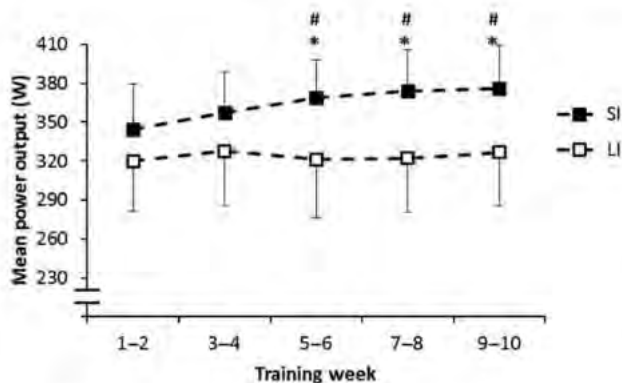


Fig. 1. Mean power output during the short-interval sessions (SI) and long-interval sessions (LI) across the 10-week intervention period. \*Larger than week 1–2 ( $P < 0.05$ ). #Larger relative increase than the LI group ( $P < 0.05$ ).

$PVO_{2max}$  is a suitable intensity for the work intervals used in the SI group (Rønnestad & Hansen, 2013). The power output during the subsequent work intervals during the intervention period was individually adjusted between each interval series to ensure optimal individual power output (i.e., highest possible average power output during each session). The intervention was completed during the cyclists' early preparation phase.

### Testing procedures

Physical tests were performed before and after the 10-week intervention period. The cyclists were instructed to refrain from all types of intense exercise the day preceding each of the three test days. They were also instructed to consume the same type of meal before each test and were not allowed to eat during the hour preceding a test or to consume coffee or other products containing caffeine during the 3 h preceding the tests. All tests were performed under similar environmental conditions (18–21 °C), with a fan ensuring circulating air around the cyclist. Strong verbal encouragement was given during all tests to ensure maximal effort. All tests for the individual cyclists were conducted at the same time of day ( $\pm 1$  h) to avoid any influence of circadian rhythm. All testing was performed on the same electromagnetically braked cycle ergometer (Lode Excalibur Sport, Lode B.V.), which was adjusted according to each cyclist's preference for seat height, horizontal distance between tip of seat and bottom bracket, and handlebar position. Identical seating positions were used for all tests.

### Blood lactate profile test, $VO_{2max}$ , and $PVO_{2max}$

The first test day included a blood lactate profile and a  $VO_{2max}$  test. The blood lactate profile has been described elsewhere (Rønnestad et al., 2010). Briefly, the test started without warm-up, with 5-min cycling at 125 W. Cycling continued and power output was increased by 50 W every 5 min. Blood samples were taken from a fingertip at the end of each 5 min bout and were analyzed for whole blood  $[La^-]$ . The test was terminated when a  $[La^-]$  of 4 mmol/L or higher was measured.  $VO_2$ , respiratory exchange ratio (RER), and HR were measured during the last 3 min of each bout. HR was measured using a Polar S610i HR monitor (Polar, Kempele, Finland).  $VO_2$  was measured (30-s sampling time) using a computerized metabolic system with mixing chamber (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany). The gas analyzers were calibrated with certified calibration gases of known concentrations before every test. The flow turbine (Triple V, Erich Jaeger) was calibrated before every test with a 3-L, 5530 series, calibration syringe (Hans Rudolph, Kansas City, MO, USA). The same metabolic system with identical calibration routines was used on all subsequent tests. From this continuous incremental cycling test, power output at lactate threshold was calculated as the power output that corresponded with 4 mmol/L. Cycling economy was calculated as the average oxygen consumption between 3.0 and 4.5 min of the first three 5-min submaximal stages of the blood lactate profile test (125, 175, and 225 W). Gross efficiency was calculated using the same method as Coyle et al. (1992). Briefly, rate of energy expenditure was calculated using gross  $VO_2$  values and their matching RER values, and gross efficiency was expressed as the ratio of work accomplished per minute to caloric expenditure per minute.

After termination of the blood lactate profile test, the cyclists had 15 min of recovery cycling before completing another incremental cycling test for determination of  $VO_{2max}$ . This test has been described elsewhere (Rønnestad et al., 2011). Briefly, the test was initiated with 1 min of cycling at a power output corresponding to 3 W/kg (rounded down to the nearest 50 W). Power output was subsequently increased by 25 W every minute until exhaustion.  $VO_{2max}$  was calculated as the average of the two highest 30-s  $VO_2$

measurements. HR  $\geq 95\%$  of the subjects reported maximal HR, RER  $\geq 1.05$ , and  $[\text{La}^-] \geq 8.0$  mmol/L were required as criteria to evaluate if  $\text{VO}_{2\text{max}}$  was obtained. Peak aerobic power output ( $W_{\text{max}}$ ) was calculated as the mean power output during the last 2 min of the incremental  $\text{VO}_{2\text{max}}$  test.  $\text{PVO}_{2\text{max}}$  was calculated according to the description of Daniels et al. (1984). This method calculates  $\text{PVO}_{2\text{max}}$  by extrapolation of the individual  $\text{VO}_2$  to submaximal power output relationships to the measured  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , and has previously been used to determine  $\text{PVO}_{2\text{max}}$  in well-trained cyclists (Rønnestad, 2013).

#### Wingate test and 5-min all-out trial

Both the 30-s Wingate test and the 5-min all-out trial were performed on a cycle ergometer on the second test day. Braking resistance was set to 0.8 Nm/kg body mass. After a 20-min warm-up (including two to three submaximal sprints and a 1-min rest), the cyclists started cycling at 60 rpm without braking resistance. Then, following a 3-s countdown, the braking resistance was applied to the flywheel and remained constant throughout the 30-s all-out test. Mean power output was presented as the average power output sustained throughout the 30 s. Cyclists remained seated throughout the test, and strong verbal encouragement was provided throughout. Cyclists were instructed to pedal as fast as possible from the start and not to conserve energy for the last part of the test. Cyclists then recovered by cycling at  $\sim 100$  W for 15 min before the 5-min all-out trial. The cyclists were instructed to cycle at as high average power output as possible during the 5-min trial and to remain seated during the entire test. The cyclists were allowed to adjust the power output throughout the trial using an external control unit mounted on the handlebar. Performance during the 5-min all-out test was measured as the average power output. Such closed-end tests have been shown to have a low coefficient of variation in trained cyclists ( $\text{CV} < 3.5\%$ ; Foss & Hallén, 2005).

#### Forty-min all-out trial

The 40-min all-out trial was performed on the third test day and started after a 15-min individual warm-up, which was concluded by two to three submaximal sprints. This small room for individual optimizing of the warm-up was given due to different preferences among the cyclist. During the 40-min trial, the cyclists were instructed to cycle at as high average power output as possible. Performance was measured as the average power output during the trial. The cyclists were allowed to adjust the power output throughout the trial using an external control unit mounted on the handlebar. The cyclists received no feedback about HR and cadence, but they were aware of remaining time and instantaneous power output. The cyclists were allowed to occasionally stand in the pedals during the trial and to drink water *ad libitum*. At the posttest,  $[\text{La}^-]$  was measured every 5th min, and mean values for the first 20 min and last 20 min was compared between the groups. Unfortunately, because of technical problems  $[\text{La}^-]$  was not measured every 5th min at pretest.

#### Statistical analyses

All values presented in the text, figures, and tables are mean  $\pm$  standard deviation. To test for differences between groups at baseline and training volume, unpaired Students *t*-tests were used. Because of the small sample size and expectations of small changes in these already well-trained cyclists, the data were analyzed with *t*-tests and mean effect size (ES). ES was calculated as Cohen's *d* to compare the practical significance of the performance improvements among the two groups. The criteria to interpret the magnitude of the ES were 0.0–0.2 trivial, 0.2–0.6 small,

0.6–1.2 moderate, 1.2–2.0 large, and  $> 2.0$  very large (Hopkins et al., 2009). Pre- to post-intervention within group differences were compared using paired Students *t*-test ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $W_{\text{max}}$ , power output during 30 s, 5- and 40-min tests, and at 4 mmol/L  $[\text{La}^-]$ ). To test for any differences in relative changes between the groups, unpaired Students *t*-tests were performed. For each group, mean power output during the work intervals for every 2-week period was compared using one-way repeated measures analysis of variance (ANOVA). If the ANOVA reached significance, a Tukey's honestly significant difference test was performed for post-hoc analysis. To test for differences between groups in changes in mean power output during each 2-week period, two-way repeated measures ANOVA (time and group as factors) with Bonferroni post-hoc tests were performed. *t*-tests were performed in Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). ANOVA analyses were performed in GraphPad (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA). All analyses resulting in  $P \leq 0.05$  were considered statistically significant. *P*-values between 0.06 and 0.10 are described as tendencies.

## Results

### Baseline

Baseline values for body mass,  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $W_{\text{max}}$ , gross efficiency, power output at 4 mmol/L, and 40-min all-out trial did not differ between the groups.

### Mean power output in the interval sessions

During the training period, mean power of work interval sessions had increased by  $9\% \pm 5\%$  in SI group ( $P < 0.01$ ; Fig. 1), whereas there was no significant change in LI group ( $2\% \pm 5\%$ ,  $P = 0.2$ ). For the second half of the training period, the relative increase in mean power output during work intervals was larger in the SI group than in the LI group ( $P < 0.05$ ; Fig. 1). There were no difference between the SI group and LI group in RPE after the HIT sessions during training week 1–2 ( $17.4 \pm 1.3$  vs  $17.1 \pm 1.4$ , respectively), training week 3–4 ( $17.6 \pm 0.9$  vs  $17.6 \pm 1.0$ , respectively), training week 5–6 ( $17.9 \pm 0.9$  vs  $17.6 \pm 1.1$ , respectively), training week 7–8 ( $18.2 \pm 0.8$  vs  $17.9 \pm 0.7$ , respectively), and training week 9–10 ( $17.7 \pm 0.9$  vs  $17.8 \pm 0.7$ , respectively).

### Body mass, $\text{VO}_{2\text{max}}$ , and $W_{\text{max}}$

Body mass did not change significantly during the intervention in either the SI group ( $76.2 \pm 5.3$  kg vs  $77.1 \pm 5.1$ ) or the LI group ( $77.0 \pm 7.2$  vs  $76.9 \pm 7.2$ ). SI training increased  $\text{VO}_{2\text{max}}$  by  $8.7\% \pm 5.0\%$  ( $P < 0.05$ ), whereas there was no significant increase after LI training ( $2.6\% \pm 5.2\%$ ,  $P = 0.28$ ; Fig. 2).  $W_{\text{max}}$  increased by  $8.5\% \pm 5.2\%$  in SI group ( $P < 0.05$ ) but did not change significantly in the LI group ( $1.6\% \pm 3.6\%$ ,  $P = 0.33$ ; Fig. 3). The percentage increase in  $\text{VO}_{2\text{max}}$  and  $W_{\text{max}}$  was larger in the SI group than the LI group ( $P \leq 0.05$ ), and the mean ES of the relative improvement in  $W_{\text{max}}$  and  $\text{VO}_{2\text{max}}$  revealed a large effect of SI training vs LI training (ES = 1.20 and ES = 1.54, respectively).



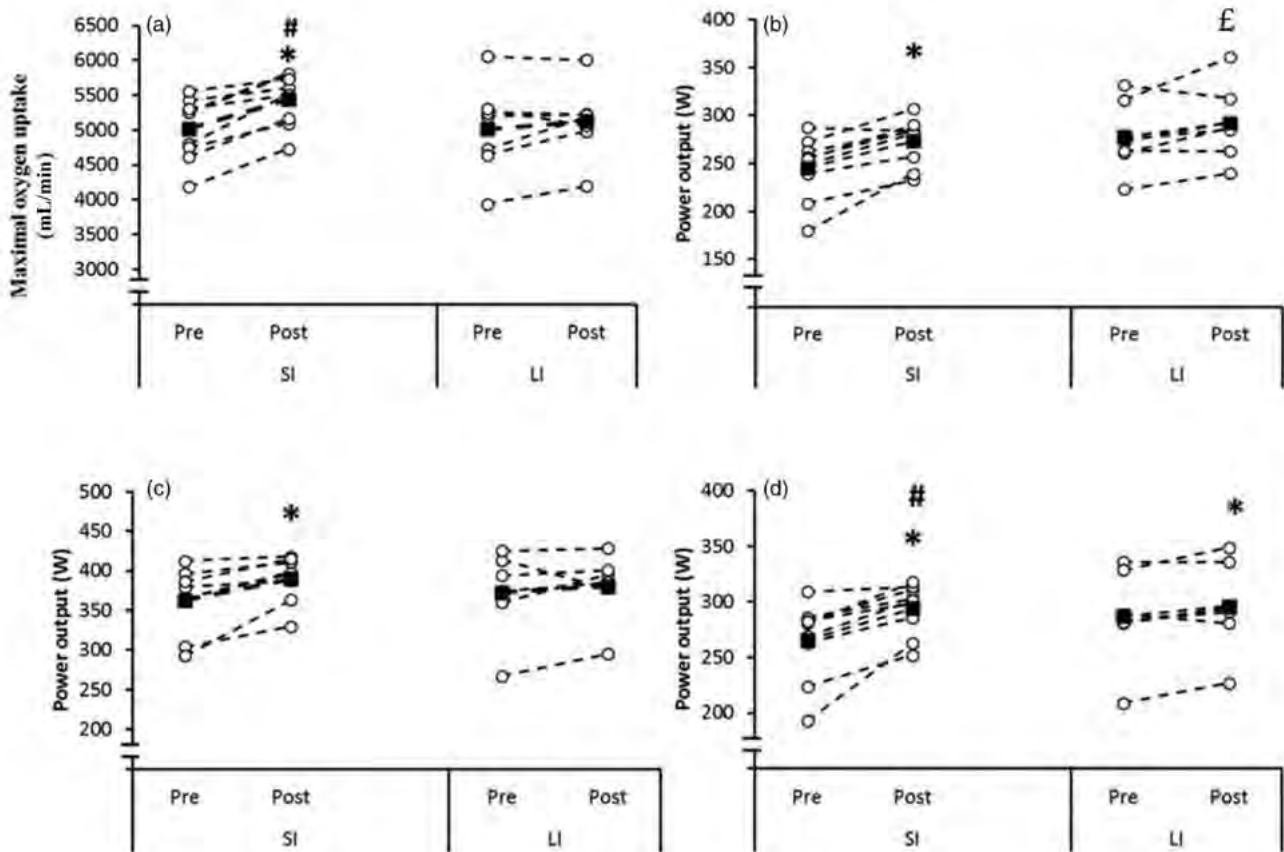


Fig. 2. Individual data points for (a) maximal oxygen consumption, (b) power output (W) at 4 mmol/L [La<sup>-</sup>], (c) mean power output during the 5-min all-out trial, and (d) mean power output during the 40-min all-out trial before (pre) and after the intervention period (post) for the short-interval group (SI) and the long-interval group (LI). Data points in bold with black squares represent mean values for each data set. \*Larger than at pre ( $P < 0.05$ ). #The change from pre is larger than in LI ( $P < 0.05$ ). †Tendency toward larger than pre ( $P < 0.08$ ).

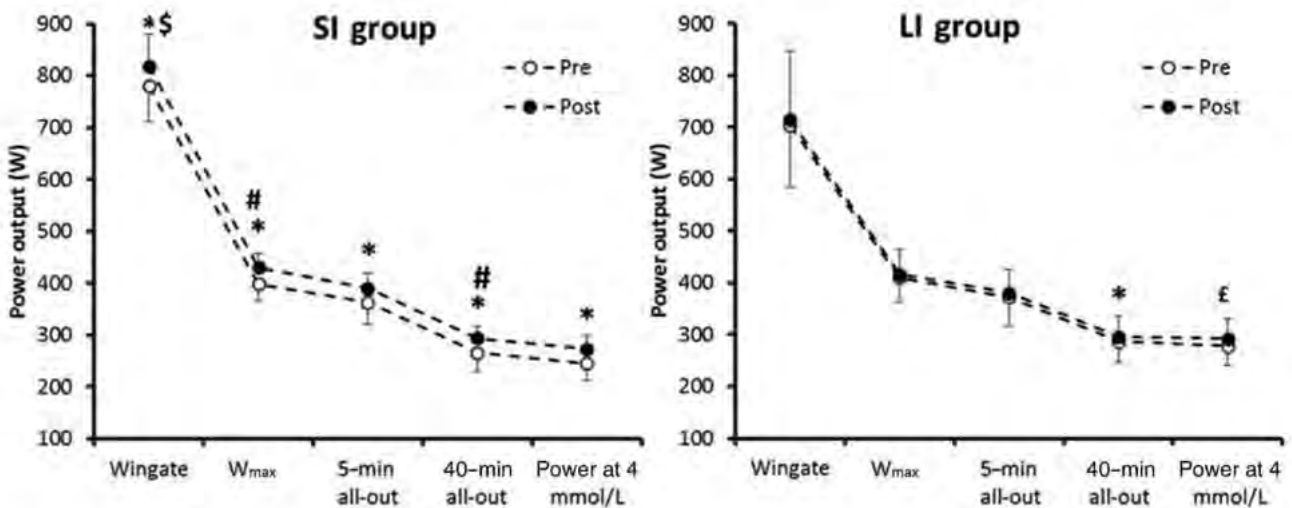


Fig. 3. Power profile before (pre) and after the intervention period (post) in the short-interval training group (SI group; left panel) and the long-interval training group (LI group; right panel). Note that the x-axis is not continuous but is composed of tests with different durations. \*Significantly larger than pre ( $P < 0.05$ ). †Tendency toward larger than pre ( $P = 0.08$ ). #The change from pre is larger than in LI ( $P < 0.05$ ). ‡The change from pre tended to be larger than in LI ( $P < 0.10$ ).

## Power output at 4 mmol/L

SI group increased power output at 4 mmol/L [ $\text{La}^-$ ] by  $12\% \pm 9\%$  ( $P < 0.01$ ), and there was a tendency toward improvement in LI group ( $5\% \pm 6\%$ ,  $P = 0.08$ ; Fig. 2). There were no statistical significant differences between groups in changes ( $P = 0.12$ ), but the ES analysis revealed a moderate practical effect of SI compared with LI training (ES = 0.86). There was no difference between the groups in either gross efficiency or cycling economy, and no change in these measurements was observed in either group during the intervention period. Gross efficiency at a power output of 125, 175, and 225 W was  $16.6\% \pm 1.3\%$ ,  $18.2\% \pm 1.0\%$ , and  $19.0\% \pm 1.0\%$ , respectively, whereas the cycling economy at these power outputs were  $0.232 \pm 0.022$ ,  $0.211 \pm 0.019$ , and  $0.200 \pm 0.019$  mL/kg/W, respectively, as mean values across groups and time points of intervention.

## Power output in all-out trials

Both the SI and the LI group increased their mean power output during the 40-min all-out trial ( $12\% \pm 10\%$  vs  $4\% \pm 4\%$ , respectively,  $P \leq 0.05$ ; Fig. 2). There was a tendency toward larger relative improvement in mean power output during the 40-min all-out trial in the SI group ( $P = 0.056$ ), and the ES of the relative improvement revealed a moderate effect of SI compared with LI training (ES = 1.09). [ $\text{La}^-$ ] values obtained after 40-min all-out tests were not different between the SI and LI groups either at the pretest ( $11.8 \pm 2.4$  and  $11.5 \pm 3.4$  mmol/L, respectively) or at the posttest ( $11.5 \pm 2.7$  and  $10.8 \pm 3.2$  mmol/L, respectively). Mean [ $\text{La}^-$ ] from the first 20 min of the 40-min all-out posttest showed a tendency toward higher values in SI group compared with LI group ( $6.2 \pm 1.6$  vs  $4.5 \pm 1.6$  mmol/L, respectively,  $P = 0.07$ ), whereas there were no differences in mean [ $\text{La}^-$ ] values during the last 20 min of the test ( $9.1 \pm 2.1$  vs  $7.9 \pm 3.4$  mmol/L, respectively,  $P = 0.4$ ). Neither at pretests nor at posttests were there any difference between SI and LI groups in [ $\text{La}^-$ ] values immediately after the 40-min all-out trial (pre:  $11.8 \pm 2.4$  vs  $11.5 \pm 3.4$  mmol/L, respectively; post:  $11.5 \pm 2.7$  and  $10.8 \pm 3.2$  mmol/L, respectively). SI training improved mean power output during the 5-min all-out test by  $8\% \pm 7\%$  ( $P < 0.01$ ; Fig. 2), whereas there was no significant change after LI training ( $3\% \pm 7\%$ ,  $P = 0.5$ ; Fig. 2). There was no statistically significant difference between groups in relative change but the ES of the relative improvement revealed a moderate effect of SI training vs LI training (ES = 0.71). The  $5\% \pm 3\%$  increase in mean power output during the 30-s Wingate test in the SI group (from  $775 \pm 66$  to  $811 \pm 61$  W,  $P < 0.01$ ) tended to be larger ( $P = 0.10$ ) than the nonsignificant change of  $1.4\% \pm 3.7\%$  in the LI group (from  $703 \pm 119$  to  $715 \pm 133$  W,  $P = 0.3$ ). ES of the relative improvement revealed a moderate effect of SI training vs LI training (ES = 1.03). The average increase in power

output from all five tests was 6.9% points higher for the SI group ( $10.0\% \pm 5.8\%$  increase) than the LI group ( $3.1\% \pm 3.2\%$  increase,  $P < 0.05$ ; Fig. 3). The ES of the mean relative improvement revealed a large effect of SI training vs LI training (ES = 1.47).

## Discussion

The primary finding in the present study was that performing HIT as SIs induced superior training adaptations on several endurance and performance measurements, compared with performing HIT as LIs, despite similar effort and work time during the HIT sessions. SI cyclists had a larger relative increase in  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ,  $W_{\text{max}}$ , mean power output during 30-s Wingate test, and tended to show larger increases in power output at 4 mmol/L [ $\text{La}^-$ ], and mean power output during 40-min all-out trial compared with LI cyclists. Furthermore, the ES of the relative improvement in all measured parameters revealed a moderate-to-large effect of SI training vs LI training.

The present study used effort matching of the groups instead of matching the groups on total work or energy consumption. It has been suggested that the effort-matched assessment is closer to how athletes typically perform their training (Seiler et al., 2013). The present effort matching was successful as shown by similar RPE scores and [ $\text{La}^-$ ] in the two groups after the HIT sessions. The observed superior effect after SI training compared with LI training is somewhat contradictory to previous studies that have reported similar improvements between the two training regimens (Stepito et al., 1999; Laursen et al., 2002; Laursen et al., 2005; Helgerud et al., 2007). A potential contributor to these different findings might be that the present study used a longer intervention period, increasing the likelihood of detecting effects of small differences in training stimulus, especially among trained athletes. The present intervention period lasted 10 weeks, whereas the other comparable studies lasted only 3–4 weeks (Stepito et al., 1999; Laursen et al., 2002; Laursen et al., 2005) or 8 weeks (Helgerud et al., 2007). In addition, there are some other differences in the design of the SI protocols that might contribute toward explaining the superiority of SI in the present study, and that might be important to consider when designing interval programs. The 2:1 work : recovery ratio and the rather long duration of each series (9.5 min) enables the cyclists to achieve a relatively large cardiovascular stress.

The SI protocol used in the study by Helgerud et al. (2007) was designed as 15-s work periods alternated by 15-s active recovery periods, and it has been observed that time above 90% of  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is higher during a SI session when the duration of the work periods are 30 s, as in the present study, than shorter work periods (Rozenek et al., 2007; Wakefield & Glaister, 2009). Furthermore, it has been indicated that a work : recovery ratio of 1:1 induces less time spent above 90% of  $\text{VO}_{2\text{max}}$  than the 2:1 ratio used in the present study (Rozenek

et al., 2007). This is probably related to longer time to achieve 90% of  $\text{VO}_{2\text{max}}$  because of short work periods in combination with longer recovery periods. Based on these rationales, we suggest that a larger training stimulus (time above 90% of  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) during the present SI training protocol was the primary cause of the larger  $\text{VO}_{2\text{max}}$  adaptations in the SI group compared with the LI group. That being said, the participants in the study of Helgerud et al. (2007) were moderately trained ( $\text{VO}_{2\text{max}}$  ~55–60 mL/kg/min) and thus a lower training stimulus might be adequate. The cyclists in the present study appear to have a higher training status ( $\text{VO}_{2\text{max}}$  ~66 mL/kg/min) and as fitness level increases, so does the importance of HIT and the quality of training required to improve performance (Midgley et al., 2006).

Some other studies have used similar work intervals as the SI training protocol in the present study (Stepito et al., 1999; Laursen et al., 2002; Laursen et al., 2005). However, the combination of higher work intensity (175% of  $\text{PVO}_{2\text{max}}$ ) with a longer recovery period (4.5 min) in these studies might have led to insufficient stress on the cardiovascular system for trained cyclists. Accordingly, work periods should reach at least 2–3 min to achieve sufficient training adaptations on cardiac function (Buchheit & Laursen, 2013). If the 30-s work periods had been repeated for a sufficient duration with intermittent and much shorter recovery periods, like the present organization of 30-s work intervals interspersed with 15-s active recovery periods, an even larger stimulus would be placed on the cardiovascular system, potentially leading to superior adaptations. However, reducing the recovery period leads to reduced exercise intensity during the work periods, and the ergogenic potential of the supramaximal efforts have been shown in both untrained and trained persons (Burgomaster et al., 2008; Psilander et al., 2010). This ergogenic effect seems to mainly be due to increased oxygen potential within the exercising muscles. The latter is supported by one of the few studies including muscle tissue data from well-trained cyclists, where it was revealed that upstream genetic markers of mitochondrial biogenesis increase to a similar extent after  $7 \times 30$ -s “all-out” work periods (4-min recovery periods in between) as  $3 \times 20$ -min work periods at ~87% of  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  (Psilander et al., 2010). It might be suggested that lowering the exercise intensity to  $\text{PVO}_{2\text{max}}$  and largely reducing the recovery periods from 4.5 min to 15 s enables the cyclists to continuously alternate between work and recovery for a relatively long period. This may induce a much larger stimulus on the cardiovascular system (Rønnestad & Hansen, 2013) and it can be hypothesized that the lower exercise intensity (100% vs 175% of  $\text{PVO}_{2\text{max}}$ ) might be compensated by the longer exercise duration (i.e., larger volume) and thus induce a superior exercise stimulus on both the cardiovascular system and the local muscular oxygen potential.

The present study did not include muscle tissue analysis and it is thus difficult to comment on the local

adaptations within the exercising muscles. It has been suggested that exercise intensity is the key factor for activation of the master regulator, peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1 alpha (PGC-1 $\alpha$ ), of mitochondrial biogenesis (reviewed in Gibala et al., 2012). Several pathways involved in PGC-1 $\alpha$  activation, like adenosine monophosphate-activated protein kinase and calcium/calmodulin-dependent protein kinase II, seem to be activated in an exercise intensity-dependent manner (Egan et al., 2010). It has also been indicated that the superior activation of PGC-1 $\alpha$  messenger RNA is largely due to increases in muscle recruitment (Edgett et al., 2013). Although highly speculative, it might therefore be hypothesized that the SI group, who actually exercised at approximately  $\text{PVO}_{2\text{max}}$  intensity, achieved a larger stimulus on the mitochondrial biogenesis than the LI group, who had a lower exercise intensity because of the longer continuous work periods.

One of the mechanisms behind the importance of HIT on endurance performance maybe related to increased lactate exposure that is suggested to increase mitochondrial biogenesis and the expression of lactate transporters (Brooks, 2009). Despite similar values of  $[\text{La}^-]$  after HIT sessions in the present study, it might be speculated that the session consisting of  $3.0 \times 9.5$  min of SIs and thus a longer continuous duration with high  $[\text{La}^-]$  gave a better stimulus than the shorter continuously stimulus (although more frequently) achieved during the  $4 \times 5$ -min LI sessions. Weston et al. (1997) observed increased muscle buffer capacity after a HIT interval intervention in well-trained cyclists. Furthermore, they observed a correlation between muscle buffer capacity and 40-km time trial performance. Similarly, Laursen et al. (2005) found that different HIT intervals increased the cyclists' ability to tolerate lactate, as manifested by higher  $[\text{La}^-]$  during a 40-km time trial. The latter study did indeed not observe any significant difference between SI and LI. However, the SI protocol was the  $12\% \times 175\%$  of  $W_{\text{max}}$  with 4.5-min recovery periods, and therefore it could be that the SI protocol in the present study induced a larger volume of lactate stress. Therefore, it might be speculated that a larger exposure to lactate stress could positively affect muscular adaptations. In fact, during the first half of the present 40-min all-out trial at the posttest,  $[\text{La}^-]$  in the SI group tended to be higher than in the LI group. This may be interpreted as a higher lactate tolerance in the SI group and we hypothesize that this may explain some of the performance improvement in this group. Unfortunately,  $[\text{La}^-]$  was not regularly measured during the pretest; thus, caution must be used in the interpretation of the comparison of groups at the posttest. However,  $[\text{La}^-]$  at the end of the 40-min all-out trial was similar in the two groups at both pre- and posttests, indicating no difference between groups in maximal production of  $[\text{La}^-]$ . Therefore, it is possible to compare the groups at posttest where the results may give some insight into potential mechanisms behind the

observed adaptations. Improved lactate tolerance could in theory also be related to the favorable improvement in 30-s Wingate power output,  $W_{max}$ , and mean power during 5-min all-out test.

It has been suggested that time spent at high exercise intensity (i.e.,  $PVO_{2max}$ ) might have an additive effect on muscular adaptations (Noakes, 1991; Denadai et al., 2006). Therefore, it might be hypothesized that the present SI protocol, with a higher power output and multiple acceleration phases (the start of every 30-s work interval), facilitates a larger stimulus on the neuromuscular system than the LI protocol. This may be evident by the superior improvement in mean 30-s Wingate power output in SI cyclists. It should be mentioned that the SI protocol, with 30-s work intervals, is more specific to the Wingate test than the LI protocol with 5-min work intervals. On the other hand, the LI protocol is more specific to the 5-min all-out test, and even in this test was the SI training superior to the LI training.

The fact that LI did not improve in all measurements after 10 weeks with two HIT sessions per week might be unexpected. However, it is important to remember that the cyclists in both groups had performed approximately one HIT session per week for at least the last 4 weeks prior to start of intervention. In the majority of studies where trained cyclists have been reported to significantly improve endurance measurements after performing two HIT sessions per week, cyclists have entered the intervention period with no HIT training during the last 4–8 weeks (e.g., Weston et al., 1997; Stepto et al., 1999; Rønnestad et al., 2012). The potential to achieve improvements in endurance performance after an intervention period focusing on HIT is larger when no HIT has been performed during the prior 1–2 months (Seiler et al., 2013). Because the LI group performed their HIT sessions with a lower power output, it was somewhat expected that their improvements occurred in the lower power output region of the power profile (Fig. 3). Interestingly, SI training improved all regions of the power profile (Fig. 3), indicating an effective stimulus for multiple adaptations, such as improved neuromuscular

function, buffering capacity, cardiovascular functions, and muscular oxygen potential.

In conclusion, the present study indicates that performing the present SI protocol during the HIT induces superior training adaptations after 10 weeks compared with performing HIT with a more classic LI protocol constituted by 4 × 5-min work intervals. This was evident from the ES that showed a moderate-to-large effect of SI training vs LI training on all aspects of the power profile.

## Perspectives

The importance of HIT to improve endurance performance in well-trained endurance athletes is established (e.g., Laursen, 2010). Continuous work at such high intensities cannot be sustained for a long time and therefore various interval protocols, from SIs to LIs, have been used to accumulate an adequate training stimulus. It is unclear how to best organize the HIT intervals. After 10 weeks of training that included two weekly sessions of HIT, the present SI protocol was found to be superior to the LI protocol with regard to both the high-power region and lower power region of cyclists' power profile. The present SI protocol consisted of 30-s work periods at approximately  $PVO_{2max}$  intensity separated by 15-s recovery periods consecutively for 9.5 min followed by 2.5-min recovery period. This 9.5-min period was performed three times in one interval session and can thus be recommended as a good method to organize and optimize a HIT session.

**Key words:** Intense cycling exercise, interval training prescription, endurance training, cycling performance, power profile.

## Acknowledgements

The authors thank Daniel Buck and Fredrik Engen for their help in data collection. We also thank the dedicated group of test cyclists who made this study possible. This study was supported by the Norwegian Olympic Federation.

## References

- Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 1982; 14: 377–381.
- Brooks GA. Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *J Physiol* 2009; 587: 5591–6000.
- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 2013; 43: 313–338.
- Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, Gibala MJ. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 2008; 586: 151–160.
- Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JD. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 782–788.
- Daniels J, Scardina N, Hayes J, Foley P. Elite and subelite female middle- and long-distance runners. In: Landers DM, ed. *Sport and elite performers*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1984: 57–72.
- Denadai BS, Ortiz MJ, Greco CC, de Mello MT. Interval training at 95% and 100% of the velocity at  $VO_{2max}$ : effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2006; 31: 737–743.
- Edgett BA, Foster WS, Hankinson PB, Simpson CA, Little JP, Graham RB, Gurd BJ. Dissociation of increases in PGC-1 $\alpha$  and its regulators from exercise intensity and muscle activation following acute exercise. *PLoS ONE* 2013; 8: e71623.
- Egan B, Carson BP, Garcia-Roves PM, Chibalin AV, Sarsfield FM, Barron N,

- McCaffrey N, Moyna NM, Zierath JR, O'Gorman DJ. Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1 mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *J Physiol* 2010; 588: 1779–1790.
- Foss Ø, Hallén J. Cadence and performance in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2005; 93: 453–462.
- Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 1164–1168.
- Fox EL, Bartels RL, Billings CE, Mathews DK, Bason R, Webb WM. Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med Sci Sports* 1973; 5: 18–22.
- Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol* 2012; 590: 1077–1084.
- Gunnarsson TP, Bangsbo J. The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners. *J Appl Physiol* 2012; 113: 16–24.
- Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, Hoff J. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 665–671.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 3–13.
- Iaia FM, Thomassen M, Kolding H, Gunnarsson T, Wendell J, Rostgaard T, Nordsborg N, Krstrup P, Nybo L, Hellsten Y, Bangsbo J. Reduced volume but increased training intensity elevates muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump  $\alpha$ -subunit and NHE1 expression as well as short-term work capacity in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2008; 294: 966–974.
- Jeukendrup AE, Craig NP, Hawley JA. The bioenergetics of World Class Cycling. *J Sci Med Sport* 2000; 3: 414–433.
- Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 1–10.
- Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 2002; 32: 53–73.
- Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program on optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 1801–1807.
- Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 527–533.
- Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schomer HH, Noakes TD, Dennis SC. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 1427–1434.
- MacDougall D, Sale D. Continuous vs. interval training: a review for the athlete and the coach. *Can J Appl Sport Sci* 1981; 6: 93–97.
- Midgley AW, McNaughton LR. Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *J Sports Med Phys Fitness* 2006; 46: 1–14.
- Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med* 2006; 36: 117–132.
- Noakes TD. *Lore of running*. Champaign, IL: Leisure Press, 1991: 450.
- Psilander N, Wang L, Westergren J, Tonkonogi M, Sahlin K. Mitochondrial gene expression in elite cyclists: effects of high-intensity interval exercise. *Eur J Appl Physiol* 2010; 110: 597–606.
- Rønnestad BR. Comparing two methods to assess power output associated with peak oxygen uptake in cyclists. *J Strength Cond Res* 2013. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182987327.
- Rønnestad BR, Ellefsen S, Nygaard H, Zacharoff EE, Vikmoen O, Hansen J, Hallén J. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 2012. doi: 10.1111/sms.12016.
- Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108: 965–975.
- Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21: 250–259.
- Rønnestad BR, Hansen J. Optimizing interval training at power output associated with peak oxygen uptake in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2013. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a73e8a.
- Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A. Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO<sub>2</sub>max. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 188–192.
- Seiler S, Jørranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23: 74–83.
- Shephard RJ. Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. *Int Z Angew Physiol* 1968; 26: 272–278.
- Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 736–741.
- Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 1327–1330.
- Thevenet D, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Prioux J. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2007; 99: 133–142.
- Tschakert G, Hofmann P. High-intensity intermittent exercise – methodological and physiological aspects. *Int J Sports Physiol Perform* 2013; 8: 600–610.
- Wakefield BR, Glaister M. Influence of work-interval intensity and duration on time spent at a high percentage of VO<sub>2</sub>max during intermittent supramaximal exercise. *J Strength Cond Res* 2009; 23: 2548–2554.
- Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 1986; 3: 346–356.
- Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 75: 298–304.
- Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 75: 7–13.

RESEARCH ARTICLE

# Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training

Håvard Nygaard<sup>1\*</sup>, Gunnar Slettaløkken<sup>1</sup>, Geir Vegge<sup>1</sup>, Ivana Hollan<sup>2</sup>, Jon Elling Whist<sup>3</sup>, Tor Strand<sup>3</sup>, Bent R. Rønnestad<sup>1</sup>, Stian Ellefsen<sup>1</sup>

**1** Lillehammer University College, Lillehammer, Norway, **2** Hospital for Rheumatic Diseases, Lillehammer, Norway, **3** Innlandet Hospital Trust, Lillehammer, Norway

\* [havard.nygaard@hil.no](mailto:havard.nygaard@hil.no)



## Abstract

### Purpose

Irisin is a recently identified exercise-induced hormone that increases energy expenditure, at least in rodents. The main purpose of this study was to test the hypothesis that Irisin increases acutely in blood after singular sessions of intense endurance exercise (END) and heavy strength training (STR). Secondary, we wanted to explore the relationship between body composition and exercise-induced effects on irisin, and the effect of END and STR on muscular expression of the irisin gene FNDC5.

### Methods

Nine moderately trained healthy subjects performed three test days using a randomized and standardized crossover design: one day with 60 minutes of END, one day with 60 minutes of STR, and one day without exercise (CON). Venous blood was sampled over a period of 24h on the exercise days.

### Results

Both END and STR led to transient increases in irisin concentrations in blood, peaking immediately after END and one hour after STR, before gradually returning to baseline. Irisin responses to STR, but not END, showed a consistently strong negative correlation with proportions of lean body mass. Neither END nor STR affected expression of FNDC5, measured 4h after training sessions, though both protocols led to pronounced increases in PGC-1 $\alpha$  expression, which is involved in transcriptional control of FNDC5.

### Conclusion

The results strongly suggest that single sessions of intense endurance exercise and heavy strength training lead to transient increases in irisin concentrations in blood. This was not accompanied by increased FNDC5 expression, measured 4h post-exercise. The results

## OPEN ACCESS

**Citation:** Nygaard H, Slettaløkken G, Vegge G, Hollan I, Whist JE, Strand T, et al. (2015) Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training. PLoS ONE 10(3): e0121367. doi:10.1371/journal.pone.0121367

**Academic Editor:** Andreas Stengel, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin, GERMANY

**Received:** November 13, 2014

**Accepted:** January 31, 2015

**Published:** March 17, 2015

**Copyright:** © 2015 Nygaard et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** All relevant data are within the paper.

**Funding:** The authors received no specific funding for this work.

**Competing Interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

suggest that irisin responses to resistance exercise are higher in individuals with lower proportions of lean body mass.

## Introduction

Metabolic diseases such as obesity and diabetes are undoubtedly some of the most challenging health issues of our times [1]. It is hence important to identify simple and inexpensive methods to counteract them, with simultaneous elucidation of underlying causalities. In 2012, Boström et al. [2] reported the finding of an exercise-inducible hormone, irisin. They showed that irisin mediates increased energy expenditure in mice resulting in improved weight regulation and glucose homeostasis, and suggested a role for it in humans [2]. This makes irisin a potential and intriguing target for preventing and treating obesity and metabolic diseases [3]. However, the relevance of irisin in human physiology is not fully understood [4], with effects of endurance and in particular strength training remaining obscure. There is need for more knowledge before we can pursue it as a potential therapeutic tool.

Boström et al. [2] found irisin to be cleaved from the membrane protein FNDC5 in muscle and released into the circulation. This was found to be under control of the transcriptional coactivator peroxisome proliferator-activated receptor- $\gamma$  coactivator-1  $\alpha$  (PGC-1 $\alpha$ ) [2]. In general, PGC-1 $\alpha$  mediates many of the physiological adaptations associated with endurance training [5], and conveys many of the known health-related physical adaptations, such as mitochondrial biogenesis [6]. PGC-1 $\alpha$  comes in different isoforms [7]. Whereas, PGC-1 $\alpha$  splice 1 is considered the traditional isoform of the gene, being involved in endurance-related adaptations in skeletal muscle, the recently identified PGC-1 $\alpha$ 4 seems to be predominantly involved in adaptations to resistance training [8].

Originally, Puigserver et al. [9] identified PGC-1 $\alpha$  as a regulator of thermogenesis in skeletal muscle and beige adipose tissue in mice via its activation of mitochondrial genes such as uncoupling protein 1 (UCP-1), which is specific for brown fat. UCP-1 uncouples proton currents across the inner mitochondrial membrane from ATP production, allowing heat production [10]. In this manner, UCP-1 provides beige adipose tissue with the ability to oxidize fat and glucose in excess of energy demands, giving it a potential role in controlling body mass [10, 11]. In accordance with this, the increased energy expenditure and improved glucose homeostasis mediated by irisin in mice occurs in a UCP-1-dependent manner [2], independently of physical activity and dietary habits. In essence, irisin converts white adipose tissue into beige adipose tissue [2], and may thus constitute the missing link between PGC-1 $\alpha$  and its positive effects on systemic health, ranging from controlling fat mass, impairing muscle wasting, increasing bone mineral density, preventing insulin resistance, and reducing systemic inflammation [12]. A potential role of irisin in health and longevity is supported by several cross-sectional studies [13–19], though its physiological role in humans is debated [4].

The training-induced nature of irisin remains uncertain in humans. While some studies have found irisin concentrations to increase in blood immediately after singular bouts of exercise [20–25], others have failed to do so [26, 27]. Inconsistencies also exist with regard to effects of training on expression of FNDC5 mRNA. While FNDC5 expression originally was claimed to increase after acute exercise [2], more recent studies have reported no or only minor increases [26, 28]. So far, few studies have explored the acute effect of strength training on irisin. Pekkala et al. [26] found no effect on irisin after a heavy strength training session, being restricted to exercises of the legs. In a long term study we recently identified a surprising negative

correlation between changes in rested-state irisin levels following 12 weeks of strength training and lean body mass [29], suggesting a complex interrelationship between irisin and strength training.

The purpose of this study was to test the hypothesis that irisin levels in blood increase acutely after single sessions of both END and STR. Secondary, we wanted to explore the relationship between body composition and exercise induced effects on irisin, and the effect of END and STR on the muscular expression of FNDC5.

## Materials and Methods

### Subjects

Nine healthy individuals (two women and seven men) participated in the study. Subject characteristics are shown in [table 1](#). All subjects were classified as moderately trained, having performed 1–5 sessions of endurance and/or strength training per week for the three months preceding study enrolment, including at least two endurance training sessions and two strength training sessions per month.

### Ethics Statement

The Regional Ethics Committee (REK Sør-Øst, Norway) approved the study, and all subjects gave their written informed consent.

### General design

The study was performed using a randomized crossover design. Each subject carried out three experiments on three separate days, separated by at least six days and no more than 22 days between each: one test day with a session of intense endurance training (END), one with a session of heavy strength training (STR), and one without physical exercise (CON). All exercise sessions started at 08.00 a.m. and lasted for 60 minutes. Subjects were located to indoor accommodations with stable temperatures throughout all experiments and were sedentary except for during exercise sessions. Blood samples and muscle biopsies were collected at standardized time points. All experimental days were identical ([Fig. 1](#)), except for the following: I) they involved different exercise regimes, II) on the day of CON, blood sampling was limited to fewer time points and III) on the day of CON, no muscle biopsies were sampled. To ensure maximal effort during END and STR, subjects were orally encouraged.

Subjects were instructed to refrain from physical exercise for the three days preceding experimental days, and were instructed to standardize their diet for each of the three-day periods prior to each test. On the evening before each test day, a meal was ingested that contained >50g carbohydrate. The breakfast before tests also contained >50g carbohydrate. On test days, the research team provided subjects with all food. On the first of the test days, each meal consisted of self-chosen amounts of food ingested at standardized time points ([Fig. 1](#)). Food intake was carefully registered, and dietary standardization was achieved by repeating this food intake on test days two and three. Mean intake on each test day (breakfast to evening meal) was as follows ( $\pm$ SD): 13719  $\pm$  2593kJ, 22  $\pm$  3 E% protein, 35  $\pm$  5 E% fat, 43  $\pm$  6 E% carbohydrate. Notably, one subject vomited after STR and one subject vomited after END (both due to exhaustion), ensuring vomiting-balance between protocols.

### Exercise

END: The endurance exercise was performed as one session of intermittent high intensity treadmill running on self-selected speed and 5% inclination. After a 20 min warm-up at low



**Table 1. Subject characteristics.**

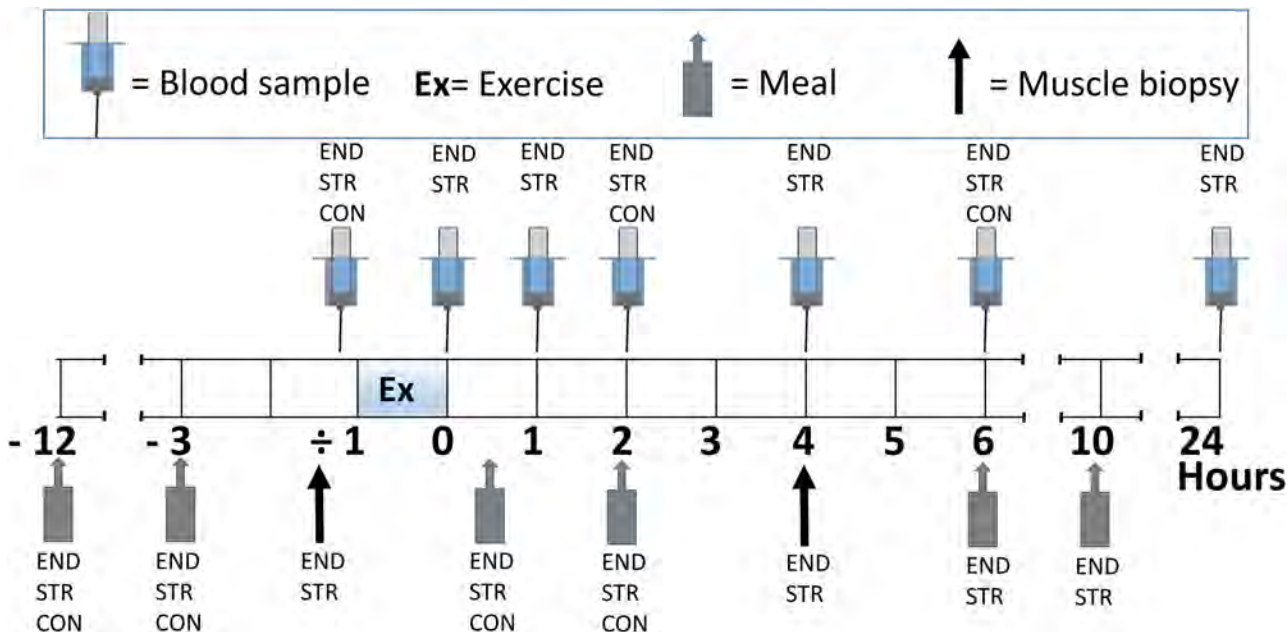
Age	Height	Weight	BMI	lean body mass	Body fat content	VO <sub>2</sub> max
32±9 years	180±10 cm	80±11 kg	24,5±2,4Kg/m <sup>2</sup>	61±10 kg	24±6%	50±7 ml/kg/min

Mean ± SD.

doi:10.1371/journal.pone.0121367.t001

intensity, subjects underwent 6 X 5 min work intervals, separated by two minutes of rest between each interval. At the end of each work interval rate of perceived exertion was aimed to reach  $\geq 18$  on the Borg 6–20 scale [30]. The aim of the entire endurance session was to achieve the highest possible average velocity, with the last interval being an all-out effort. Mean blood lactate concentration immediately after the last interval was  $10.1 \pm 2.8$  (SD) mmol/L (Biosen C-line, EKF-diagnostic GmbH, Germany). VO<sub>2max</sub> was also sampled during the last interval (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany) for subject characteristics (Table 1).

STR: At the start of their strength training session, subjects performed 5-min general warm-up on a stationary cycle ergometer at self-selected moderate intensity. Thereafter, one set of specific warm-up preceded each particular strength exercise, except for half squats, for which two sets of warm-up were performed. Exercises were as follows (listed in chronological order): half squat in a smith machine, leg press, leg curl, seated chest press, seated rowing, shoulder press, latissimus pull-down and biceps-curl. Every exercise was performed as three sets of 10–12 repetitions maximum (RM), with two minute rest periods between sets and exercises. All STR sessions was supervised by an investigator. Subjects accomplished  $10.5 \pm 0.8$  (SD) and  $10.0 \pm 1.0$  (SD) repetitions before exhaustion in the lower and upper body exercises, respectively.



**Fig 1. Schematic presentation of the protocol of the test days.** The time line spans the period from the evening prior to exercise days (-12) to the subsequent morning to exercise days (24 hours subsequent to exercise). 0h = the end of the 60 minutes exercise sessions. There were three test days; one day with a session of intense endurance exercise (END), one day with a session of heavy strength training (STR) and one day without exercise (CON). CON was similarly structured as END and STR, except that no exercise was performed, no muscle biopsies were sampled, and blood samples were only sampled at -1h, 2h and 6h.

doi:10.1371/journal.pone.0121367.g001

## Sampling and analysis

Blood samples were drawn from an antecubital vein 15 min prior to exercise, immediately post-exercise, and thereafter 1h, 2h, 4h, 6h and 24h post-exercise (END, STR) (Fig. 1). On the control day, blood samples were limited to the time points corresponding to 15 min pre exercise and 2h and 6h post-exercise. Blood was drawn into EDTA tubes, centrifuged immediately at 2600g for 12 minutes and plasma was stored at -80°C until analysis. Plasma irisin was quantified using commercially available ELISA kits (EK-067–29, Irisin Recombinant, Phoenix Pharmaceuticals, Inc, Burlingame, USA). All samples from a particular subject were analyzed using the same plate (intra-assay). Intra- and inter-assay coefficients of variation were 3.5% and 16.7%, respectively.

Muscle biopsies were sampled 30 min prior to END and STR and 4h post-exercise (Fig. 1). Following non-invasive local anaesthetization (Emla cream 2,5% lidocain/ prilocain, AstraZeneca, Karlskoga, Sweden, was applied on the skin), muscle biopsies were collected using a microbiopsy system (Bard Magnum, Reusable Core Biopsy System, Bard, NJ, USA) with 14 gauge needles. Biopsies were sampled from *musculus vastus lateralis*, at approximately 1/3 of the distance from the lateral side of the patella to the anterior spina iliaca superior. Biopsies were immersed immediately in RNAlater (Ambion, Life technologies, Carlsbad, CA, USA) and treated according to manufacturer's protocol, before storage at -80°C until RNA extraction. Total RNA was extracted from muscle biopsies using TRIzol reagent (Invitrogen, Life technologies, Carlsbad, CA, USA), as previously described [31], whereupon reverse transcription was performed on 500 µg total RNA using Superscript III Reverse Transcriptase (Invitrogen, Life technologies, Carlsbad, CA, USA), primed with both random hexamers (Ambion) and oligo d(T) (Ambion), according to manufacturer's protocol. Expression of FNDC5, PGC1 $\alpha$ -splice 1 and PGC1 $\alpha$ -splice 4 was determined by quantitative real-time RT-PCR (qRT-PCR), using SYBR Select Master Mix (Invitrogen, Life technologies, Carlsbad, CA, USA) and the 7500 Fast Real-Time PCR System (Applied Biosystems, Life technologies, Carlsbad, CA, USA), employing protocols and primers as previously described [29, 31]. For each qRT-PCR reaction, cycle threshold (Ct) was calculated using the 7500 Fast Real-Time PCR System software in an automated manner and priming efficiencies (E) were calculated using the LinRegPCR software [32, 33]. For final calculations of target gene expression, we utilized average priming efficiencies, calculated separately for each primer pair. Target gene expression was determined using GeNorm [34]. GeNorm-based analyses were based on geometric evaluation of the expression of five frequently utilized reference genes: peptidylprolyl isomerase A (PPIA, cyclophilin A),  $\beta_2$ -microglobulin ( $\beta_2m$ ), ribosomal protein L32 (RPL32),  $\beta$ -actin ( $\beta$ -a), and polymerase (RNA) II (DNA directed) polypeptide A (PolR2A). PPIA and  $\beta_2m$  were evaluated to be the two most stable reference genes, with M-values well below 0.7, the limit set by Vandesompele et al. [34], and were utilized for final calculations of normalization factors. Both PGC1 $\alpha$ -splice 1 and PGC1 $\alpha$ -splice 4 were included in our analyses, due to their known association with endurance training and strength training, respectively [5, 8].

## Body composition

Body composition was determined after the intervention was completed by dual-energy x-ray absorptiometry [35] using a Lunar Prodigy densitometer (Prodigy Advance PA+302047, Lunar, San Francisco, USA), performed in a highly standardized manner. Subjects refrained from training for the 24 hours preceding the measurement, and avoided ingestion of food or liquid for the 3 hours preceding the measurement. Lean body mass (LBM) was calculated by subtracting body fat mass and bone mineral content from total body mass.

## Statistics

Data were tested for normality and analyzed with IBM SPSS statistics, version 20.0. Main effects of the exercise interventions and time after exercise on irisin concentration were analyzed with a general linear model for repeated measures. Pairwise differences between corresponding mean values of the experiments, changes from baseline within each experiment, differences in time to peak irisin concentration between END and STR and changes in gene expression were assessed using paired t tests. Correlations were estimated with Pearson's method, except when normal distributions were disturbed, whereupon Spearman's method was used. The  $\alpha$ -level was set to 0.05. For statistically significant correlations ( $p < 0.05$ ), correlation coefficients ( $r$ ) were interpreted according to Hopkins et al. [36]:  $r < 0.1$  = trivial,  $0.1$ – $0.3$  = small,  $0.3$ – $0.5$  = moderate,  $0.5$ – $0.7$  = large,  $0.7$ – $0.9$  = very large,  $0.9$  = nearly perfect, and  $1.0$  = perfect. Data are presented as means  $\pm$  SEM unless otherwise stated. Figures were produced using SigmaPlot 12.0, Systat Software Inc. and IBM SPSS statistics, version 20.0.

## Results

When comparing main effects of singular sessions of END and STR on plasma irisin there was an effect of time after exercise (repeated measures;  $F = 5.873$ ,  $p = 0.007$ ). There was no difference between the two types of exercise, but a tendency towards an interaction between type of exercise and time ( $F = 2.999$ ,  $p = 0.059$ ). When the three time points of CON were compared with corresponding time points on END and STR, there was an effect of intervention (repeated measures;  $F = 4.910$ ,  $p = 0.022$ ).

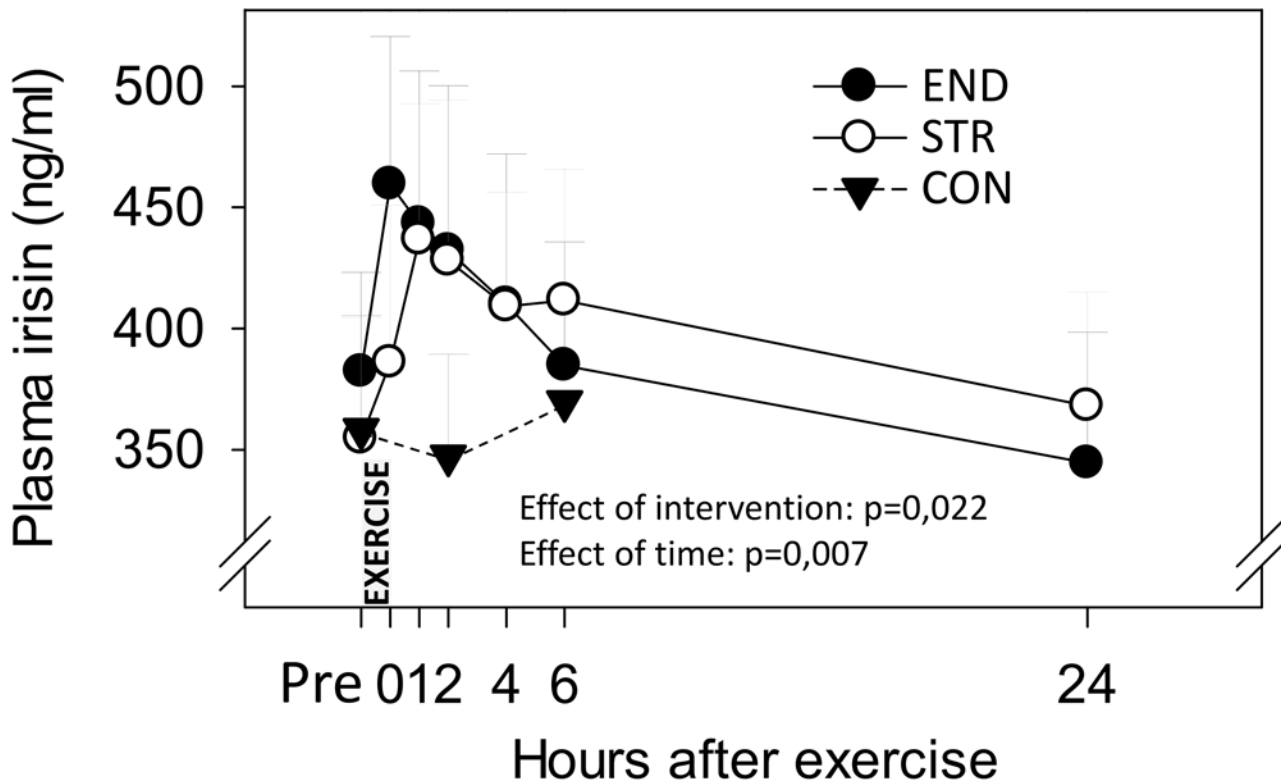
Baseline (pre) results for plasma irisin concentrations were  $358 \pm 47$ ,  $382 \pm 41$  and  $355 \pm 50$  ng/ml for CON, END and STR, respectively, and did not differ between test days (Fig. 2). On the day of CON, no change was seen in plasma irisin levels from pre to the other sampling points (Fig. 2). Following END, plasma irisin increased to  $459 \pm 61$  ng/ml at 0h ( $p = 0.037$ ) and to  $443 \pm 63$  ng/ml at 1h ( $p = 0.05$ ). At 2h post-exercise, irisin levels were  $432 \pm 68$  ng/ml, which was not different from pre values, but higher than the corresponding value on CON ( $347 \pm 42$  ng/ml;  $p = 0.04$ ). Thereafter irisin values decreased, until 24h. Following STR, plasma irisin increased to  $437 \pm 56$  ng/ml at 1h ( $p < 0.001$ ) and tended to increase to  $428 \pm 66$  ng/ml at 2h ( $p = 0.062$ ) compared to pre-exercise. The 4h value of  $409 \pm 47$  ng/ml also reached a statistical significant difference compared to the pre exercise value ( $p = 0.039$ ). Thereafter, irisin values decreased, until 24h. The 2h and 6h irisin concentrations of STR were higher than CON ( $p = 0.039$ ) and tended to be higher than CON ( $412 \pm 54$ ;  $p = 0.065$ ), respectively. Time from end of training to mean of individual peak irisin concentration was not significantly different between END ( $47 \pm 22$  min after exercise) and STR ( $80 \pm 30$  min after exercise).

Following STR, individual training-induced changes in plasma irisin at 2h, 4h, 6h and 24h correlated very largely to nearly perfectly with % lean body mass ( $r = -0.74$  to  $-0.96$ ; Fig. 3). Similar but positive correlations were observed to % fat mass. This was not seen following END or CON. Training-induced changes in irisin did not correlate with BMI.

END and STR did not affect expression of FNDC5 in *musculus vastus lateralis*, measured 4h post-training (Fig. 4). Expression of PGC-1 $\alpha$  splice variant 1 increased  $2.1 \pm 0.8$ -fold ( $p = 0.05$ ) following END and  $3.5 \pm 0.9$ -fold ( $p = 0.01$ ) following STR (Fig. 4). Exercise had no effect on PGC-1 $\alpha$  splice 4 expression. There were no significant correlations between individual changes in PGC-1 $\alpha$  splice 1 and changes in irisin concentrations from pre to post training samples.

## Discussion

This is the first study to show that irisin concentrations in blood increase in response to singular sessions of both high-intensity endurance exercise and heavy strength training in humans,

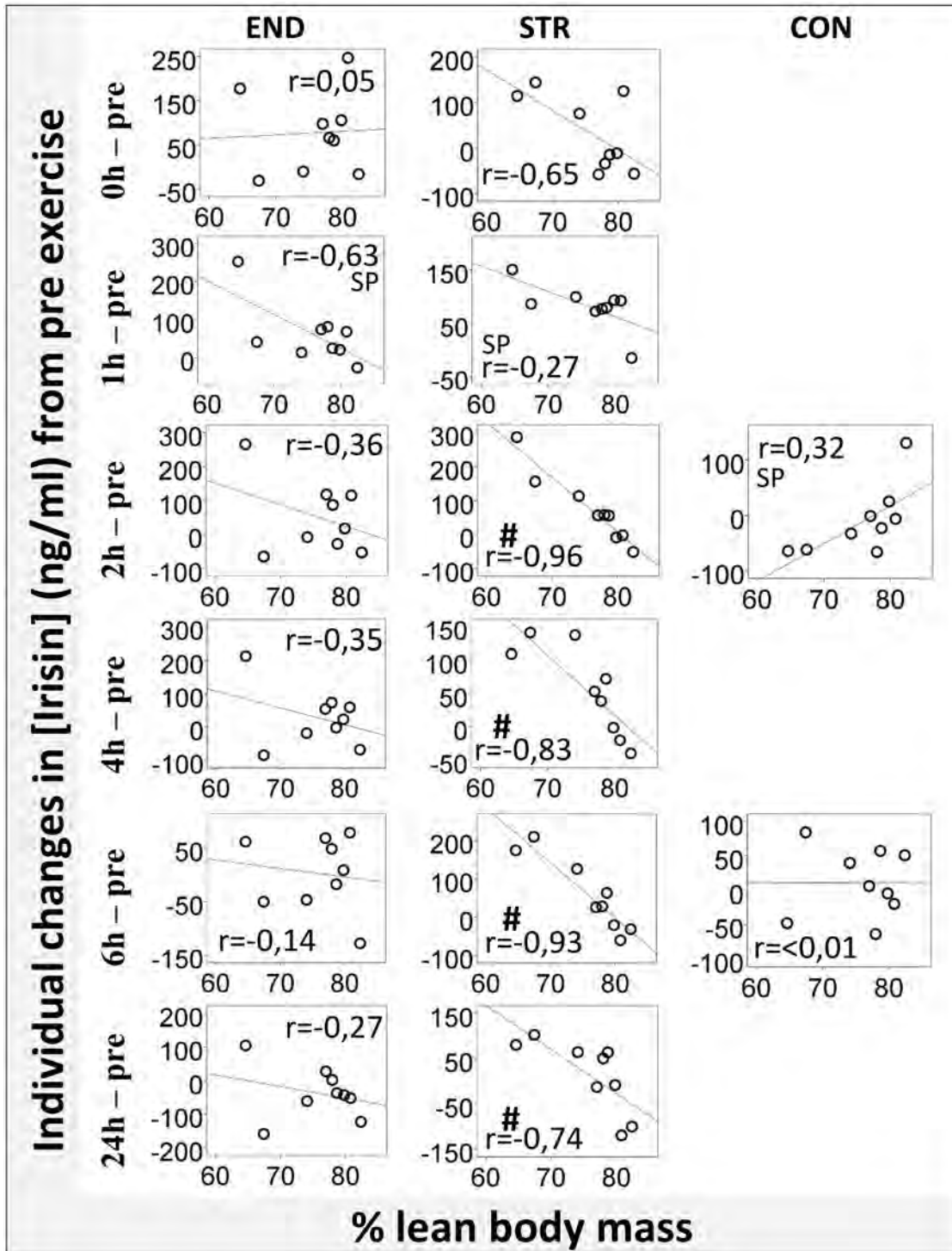


**Fig 2. Plasma concentration of irisin.** Plasma concentration of irisin measured following singular sessions of intense endurance (END) or heavy strength training (STR), or on a control day (CON) without training. Data are mean values  $\pm$  SEM. The type of intervention had a significant effect on plasma irisin levels ( $p = 0.022$ ; based on analyses of values from pre, 2h and 6h). There was also an effect of time after exercise ( $p = 0.007$ ).

doi:10.1371/journal.pone.0121367.g002

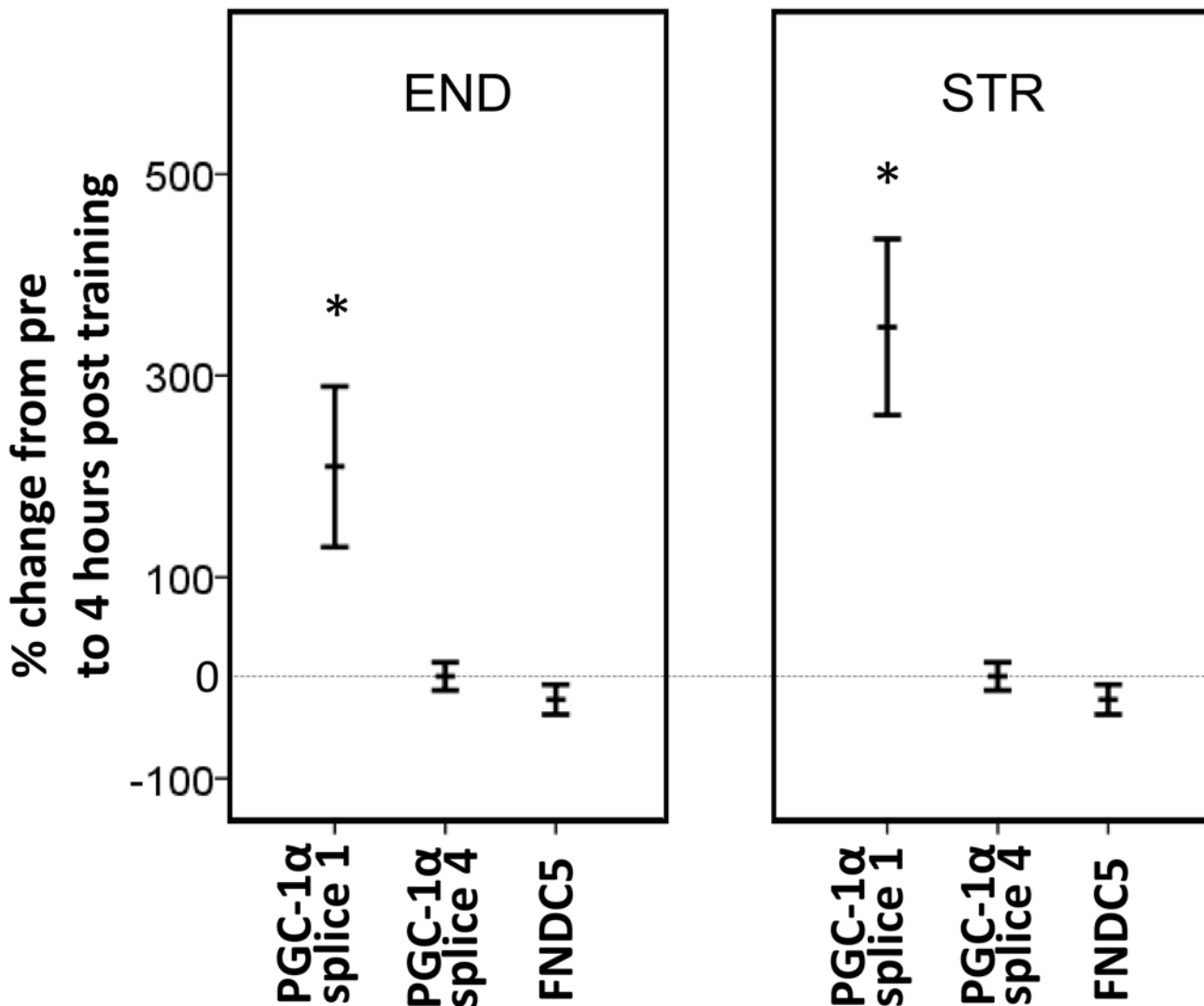
using a highly standardized within-subject design. We provide a 24h time line for irisin after training, with seven sampling points, where others have typically limited their investigation to just a few points [20–27]. Peak concentrations of irisin occurred at 0h and 1h after training, supporting the notion that irisin is a training-inducible myokine [20–25], and that the increase is transient [21, 25, 37]. Previous studies have shown increased circulating irisin immediately or short time after endurance exercise [20–24]. Indeed, one study found circulating irisin levels to increase during the course of a 90 minutes treadmill exercise at 60% of  $VO_{2max}$ , but at the end of exercise irisin levels had returned to baseline [37]. Altogether, it seems likely that irisin concentration in blood peaks within the first two hours following onset of exercise.

Observed increases in plasma irisin concentrations were not accompanied by increases in FNDC5 expression, measured 4h post-exercise. This suggests that regulation of irisin in blood does not rely on transcriptional regulation of FNDC5 in muscle in humans, at least not using the current timing of biopsy sampling. This is supported by data from other studies, who have found no or only minor effects of single training sessions on FNDC5 expression [26, 28]. The lack of changes in FNDC5 expression occurred despite 2–3 fold increases in PGC-1 $\alpha$  splice 1 expression. A missing convergence between these two genes was also found by Rasche et al. [38], wherein electrical pulse stimulation of cultured human myotubes resulted in increased PGC-1 $\alpha$  expression but not FNDC5 expression. It is possible that FNDC5 expression had increased and returned to baseline at a time-point offset from the timing of biopsy sampling employed in the present study.



**Fig 3. Lean body mass and exercise induced changes in irisin.** Correlations between proportions of lean body mass and relative changes in plasma irisin following singular sessions of intense endurance exercise (END) or heavy strength training (STR), or on a control day (CON) without training. The X axis represent individual % lean body mass. The Y axis represent individual changes in irisin concentration from baseline to each of the different time points with blood samples. Correlation analyses were performed using Pearson's method, except of the ones marked <sup>SP</sup>, which were performed using Spearman's method due to a lack of normal distribution. # =  $p \leq 0.05$ .

doi:10.1371/journal.pone.0121367.g003



**Fig 4. Changes in gene expression.** Relative changes in gene expression of irisin-related genes following singular sessions of intense endurance exercise (END) or heavy strength training (STR). Muscle biopsies were sampled 4h post exercise. Data are mean values  $\pm$  SEM. \* =  $p \leq 0.05$ .

doi:10.1371/journal.pone.0121367.g004

Although the training-induced increases in irisin concentrations shown in the present study are supported by several studies [20–25], it contrasts findings of Pekkala et al. [26]. These discrepancies may be due to differences in exercise regimes [23, 25, 27]. Indeed, training intensity, but not age or fitness level seem to determine irisin secretion following endurance exercise [25]. It may also be due to methodological issues related to quantification of irisin [39].

To our knowledge, the present study is the first to link acute exercise-induced changes in irisin concentrations to body composition, evident as remarkably stable negative relationships with percentage lean body mass in STR. This suggests that subjects with the highest proportions of muscle mass entails the smallest increases in plasma irisin after strength training exercise. This relationship was present at all sampling points, except for the one exhibiting peak plasma irisin concentrations (1h). The mechanism behind this relationship may be related to muscle uptake of irisin from the blood or to decreased abilities of larger muscle masses to secrete irisin. Arguably, the latter scenario should have resulted in a similar significant

relationship at peak irisin concentrations, which was not present. Interestingly, Ellefsen et al. [29] found a comparable negative correlation between changes in steady-state irisin levels after 12 weeks of heavy strength training, and lean body mass. The negative relationship between % lean body mass and post-exercise irisin concentration was not seen in CON or END groups.

Previously, the relationship between steady-state irisin levels and body composition has been explored in a few cross-sectional studies. For example, baseline irisin levels are low in amenorrheic athletes with low levels of body fat mass, compared to eumenorrheic athletes and non-athletes [40]. Irisin levels also seem to be positively correlated with biceps circumference (as an indicator of muscle mass) [41], and body weight, BMI and fat mass [18], and has been shown to decrease after weight loss caused by bariatric surgery [41].

The clinical relevance of irisin in humans was outside the scope of this study. This topic is disputed [4], and need to be further explored. Although a period of endurance [42] or strength training [29, 42] or both [21] does not increase steady-state irisin levels, there may certainly be cumulative health effects of transient training-induced increases in circulating irisin.

Our results, as well as previous studies [20–24, 37], suggest that future studies aiming to investigate effects of acute training sessions on irisin levels should sample blood within the first two hours of onset of exercise. The negative relationship between increases in irisin concentrations and proportions of lean body mass observed after strength training, but not after endurance training, calls for further attention. This may signify that different modes of exercise affect irisin biology in different manners.

## Conclusion

Our results supports the notion that irisin concentrations in blood increase transiently in response to single sessions of intense endurance exercise and heavy strength training in humans. Observed increases in plasma irisin concentrations were not accompanied by increases in FNDC5 expression, measured 4h post-exercise. Our results also suggest that individuals with low proportions of lean body mass exhibit more pronounced increases in irisin levels following resistance exercise than individuals with high proportion of lean body mass.

## Acknowledgments

All authors are members of The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology (LIME). We would acknowledge Tine SA and Fjordland AS for supplying us with proper food for dietary standardization. Thanks to Ellen Storrusten and Åshild Onstad for great work during data sampling.

## Author Contributions

Conceived and designed the experiments: HN GS GV IH TS JEW BRR SE. Performed the experiments: HN GV SE. Analyzed the data: HN GS SE. Contributed reagents/materials/analysis tools: HN GS SE. Wrote the paper: HN GS GV IH TS JEW BRR SE.

## References

1. WHO. World health statistics 2013. 2013.
2. Bostrom P, Wu J, Jedrychowski MP, Korde A, Ye L, Lo JC, et al. A PGC1-alpha-dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature*. 2012; 481(7382):463–8. Epub 2012/01/13. eng. doi: [10.1038/nature10777](https://doi.org/10.1038/nature10777) PMID: [22237023](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22237023/)
3. Novelle MG, Contreras C, Romero-Pico A, Lopez M, Dieguez C. Irisin, two years later. *International journal of endocrinology*. 2013; 2013:746281. doi: [10.1155/2013/746281](https://doi.org/10.1155/2013/746281) PMID: [24298283](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24298283/)

4. Elsen M, Raschke S, Eckel J. Browning of white fat: does irisin play a role in humans? *The Journal of endocrinology*. 2014; 222(1):R25–R38. Epub 2014/05/02. Eng. doi: [10.1530/JOE-14-0189](https://doi.org/10.1530/JOE-14-0189) PMID: [24781257](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24781257/)
5. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012; 590(Pt 5):1077–84. Epub 2012/02/01. eng. doi: [10.1113/jphysiol.2011.224725](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725) PMID: [22289907](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22289907/)
6. Wu Z, Puigserver P, Andersson U, Zhang C, Adelmant G, Mootha V, et al. Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1. *Cell*. 1999; 98(1):115–24. PMID: [10412986](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10412986/)
7. Norrbom J, Sallstedt EK, Fischer H, Sundberg CJ, Rundqvist H, Gustafsson T. Alternative splice variant PGC-1alpha-b is strongly induced by exercise in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2011; 301(6):E1092–8. doi: [10.1152/ajpendo.00119.2011](https://doi.org/10.1152/ajpendo.00119.2011) PMID: [21862727](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21862727/)
8. Ruas JL, White JP, Rao RR, Kleiner S, Brannan KT, Harrison BC, et al. A PGC-1alpha isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell*. 2012; 151(6):1319–31. doi: [10.1016/j.cell.2012.10.050](https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.10.050) PMID: [23217713](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23217713/)
9. Puigserver P, Wu Z, Park CW, Graves R, Wright M, Spiegelman BM. A cold-inducible coactivator of nuclear receptors linked to adaptive thermogenesis. *Cell*. 1998; 92(6):829–39. Epub 1998/04/07. eng. PMID: [9529258](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9529258/)
10. Lowell BB, Spiegelman BM. Towards a molecular understanding of adaptive thermogenesis. *Nature*. 2000; 404(6778):652–60. PMID: [10766252](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10766252/)
11. Ravussin E, Galgani JE. The implication of brown adipose tissue for humans. *Annu Rev Nutr*. 2011; 31:33–47. Epub 2011/05/10. eng. doi: [10.1146/annurev-nutr-072610-145209](https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-072610-145209) PMID: [21548774](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21548774/)
12. Wenz T, Rossi SG, Rotundo RL, Spiegelman BM, Moraes CT. Increased muscle PGC-1alpha expression protects from sarcopenia and metabolic disease during aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009; 106(48):20405–10. Epub 2009/11/18. eng. doi: [10.1073/pnas.0911570106](https://doi.org/10.1073/pnas.0911570106) PMID: [19918075](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19918075/)
13. Yan B, Shi X, Zhang H, Pan L, Ma Z, Liu S, et al. Association of serum irisin with metabolic syndrome in obese Chinese adults. *PloS one*. 2014; 9(4):e94235. Epub 2014/04/09. eng. doi: [10.1371/journal.pone.0094235](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094235) PMID: [24709991](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24709991/)
14. Liu JJ, Wong MD, Toy WC, Tan CS, Liu S, Ng XW, et al. Lower circulating irisin is associated with type 2 diabetes mellitus. *Journal of diabetes and its complications*. 2013; 27(4):365–9. Epub 2013/04/27. eng. doi: [10.1016/j.jdiacomp.2013.03.002](https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2013.03.002) PMID: [23619195](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23619195/)
15. Xiang L, Xiang G, Yue L, Zhang J, Zhao L. Circulating irisin levels are positively associated with endothelium-dependent vasodilation in newly diagnosed type 2 diabetic patients without clinical angiopathy. *Atherosclerosis*. 2014; 235(2):328–33. Epub 2014/06/10. Eng. doi: [10.1016/j.atherosclerosis.2014.04.036](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.04.036) PMID: [24911636](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24911636/)
16. Park KH, Zaichenko L, Brinkoetter M, Thakkar B, Sahin-Efe A, Joung KE, et al. Circulating irisin in relation to insulin resistance and the metabolic syndrome. *J Clin Endocrinol Metab*. 2013; 98(12):4899–907. Epub 2013/09/24. eng. doi: [10.1210/jc.2013-2373](https://doi.org/10.1210/jc.2013-2373) PMID: [24057291](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24057291/)
17. Emanuele E, Minoretti P, Pareja-Galeano H, Sanchis-Gomar F, Garatachea N, Lucia A. Serum irisin levels, precocious myocardial infarction, and healthy exceptional longevity. *Am J Med*. 2014. Epub 2014/05/13. Eng.
18. Pardo M, Crujeiras AB, Amil M, Aguera Z, Jimenez-Murcia S, Banos R, et al. Association of irisin with fat mass, resting energy expenditure, and daily activity in conditions of extreme body mass index. *International journal of endocrinology*. 2014; 2014:857270. Epub 2014/05/28. eng. doi: [10.1155/2014/857270](https://doi.org/10.1155/2014/857270) PMID: [24864142](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24864142/)
19. Rana KS, Arif M, Hill EJ, Aldred S, Nagel DA, Nevill A, et al. Plasma irisin levels predict telomere length in healthy adults. *Age (Dordrecht, Netherlands)*. 2014; 36(2):995–1001. Epub 2014/01/29. eng. doi: [10.1007/s11357-014-9620-9](https://doi.org/10.1007/s11357-014-9620-9) PMID: [24469890](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24469890/)
20. Huh JY, Panagiotou G, Mougios V, Brinkoetter M, Vamvini MT, Schneider BE, et al. FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response to weight loss and exercise. *Metabolism*. 2012; 61(12):1725–38. Epub 2012/09/29. eng. doi: [10.1016/j.metabol.2012.09.002](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.09.002) PMID: [23018146](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23018146/)
21. Norheim F, Langleite TM, Hjorth M, Holen T, Kielland A, Stadheim HK, et al. The effects of acute and chronic exercise on PGC-1alpha, irisin and browning of subcutaneous adipose tissue in humans. *The FEBS journal*. 2014; 281(3):739–49. Epub 2013/11/19. eng. doi: [10.1111/febs.12619](https://doi.org/10.1111/febs.12619) PMID: [24237962](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24237962/)
22. Lee P, Linderman JD, Smith S, Brychta RJ, Wang J, Idelson C, et al. Irisin and FGF21 are cold-induced endocrine activators of brown fat function in humans. *Cell Metab*. 2014; 19(2):302–9. Epub 2014/02/11. eng. doi: [10.1016/j.cmet.2013.12.017](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.12.017) PMID: [24506871](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24506871/)
23. Daskalopoulou SS, Cooke AB, Gomez YH, Mutter AF, Filippaios A, Mesfum ET, et al. Plasma Irisin Levels Progressively Increase in Response to Increasing Exercise Workloads in Young, Healthy,



- Active Subjects. *European journal of endocrinology / European Federation of Endocrine Societies*. 2014. Epub 2014/06/13. Eng.
24. Anastasilakis AD, Polyzos SA, Saridakis ZG, Kynigopoulos G, Skouvaklidou EC, Molyvas D, et al. Circulating irisin in healthy, young individuals: Day-night rhythm, effects of food intake and exercise, and associations with gender, physical activity, diet and body composition. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014; jc20141367. Epub 2014/06/11. Eng.
  25. Huh JY, Mougios V, Kabasakalis A, Fatouros I, Siopi A, Douroudos II, et al. Exercise-induced irisin secretion is independent of age or fitness level and increased irisin may directly modulate muscle metabolism through AMPK activation. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014; jc20141437.
  26. Pekkala S, Wiklund P, Hulmi JJ, Ahtiainen JP, Horttanainen M, Pollanen E, et al. Are Skeletal Muscle FNDC5 Gene Expression and Irisin Release Regulated by Exercise and Related to Health? *J Physiol*. 2013.
  27. Tsuchiya Y, Ando D, Goto K, Kiuchi M, Yamakita M, Koyama K. High-intensity exercise causes greater irisin response compared with low-intensity exercise under similar energy consumption. *The Tohoku journal of experimental medicine*. 2014; 233(2):135–40. Epub 2014/06/10. eng. PMID: [24910199](#)
  28. Timmons JA, Baar K, Davidsen PK, Atherton PJ. Is irisin a human exercise gene? *Nature*. 2012; 488(7413):E9–10; discussion E-1. doi: [10.1038/nature11364](#) PMID: [22932392](#)
  29. Ellefsen S, Vikmoen O, Slettalokken G, Whist JE, Nygaard H, Hollan I, et al. Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women. *European journal of applied physiology*. 2014. Epub 2014/06/08. Eng.
  30. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*. 1982; 14(5):377–81. PMID: [7154893](#)
  31. Ellefsen S, Vikmoen O, Zacharoff E, Rauk I, Slettalokken G, Hammarstrom D, et al. Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2014. doi: [10.1111/j.1600-0838.2012.01507.x](#) PMID: [22816724](#)
  32. Ramakers C, Ruijter JM, Deprez RH, Moorman AF. Assumption-free analysis of quantitative real-time polymerase chain reaction (PCR) data. *Neurosci Lett*. 2003; 339(1):62–6. PMID: [12618301](#)
  33. Ruijter JM, Ramakers C, Hoogaars WMH, Karlen Y, Bakker O, van den Hoff MJB, et al. Amplification efficiency: linking baseline and bias in the analysis of quantitative PCR data. *Nucleic Acids Res*. 2009; 37(6):12. English.
  34. Vandesompele J, De Preter K, Pattyn F, Poppe B, Van Roy N, De Paepe A, et al. Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome Biol*. 2002; 3(7):RESEARCH0034. PMID: [12184808](#)
  35. Andreoli A, Scalzo G, Masala S, Tarantino U, Guglielmi G. Body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *La Radiologia medica*. 2009; 114(2):286–300. doi: [10.1007/s11547-009-0369-7](#) PMID: [19266259](#)
  36. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and science in sports and exercise*. 2009; 41(1):3–13. doi: [10.1249/MSS.0b013e31818cb278](#) PMID: [19092709](#)
  37. Kraemer RR, Shockett P, Webb ND, Shah U, Castracane VD. A transient elevated irisin blood concentration in response to prolonged, moderate aerobic exercise in young men and women. *Hormone and metabolic research = Hormon- und Stoffwechselforschung = Hormones et metabolisme*. 2014; 46(2):150–4. eng. doi: [10.1055/s-0033-1355381](#) PMID: [24062088](#)
  38. Raschke S, Elsen M, Gassenhuber H, Sommerfeld M, Schwahn U, Brockmann B, et al. Evidence against a beneficial effect of irisin in humans. *PloS one*. 2013; 8(9):e73680. eng. doi: [10.1371/journal.pone.0073680](#) PMID: [24040023](#)
  39. Erickson HP. Irisin and FNDC5 in retrospect: An exercise hormone or a transmembrane receptor? *Adipocyte*. 2013; 2(4):289–93. doi: [10.4161/adip.26082](#) PMID: [24052909](#)
  40. Singhal V, Lawson EA, Ackerman KE, Fazeli PK, Clarke H, Lee H, et al. Irisin levels are lower in young amenorrheic athletes compared with eumenorrheic athletes and non-athletes and are associated with bone density and strength estimates. *PloS one*. 2014; 9(6):e100218. eng. doi: [10.1371/journal.pone.0100218](#) PMID: [24926783](#)
  41. Huh JY, Panagiotou G, Mougios V, Brinkoetter M, Vamvini MT, Schneider BE, et al. FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response to weight loss and exercise. *Metabolism*. 2012.
  42. Hecksteden A, Wegmann M, Steffen A, Kraushaar J, Morsch A, Ruppenthal S, et al. Irisin and exercise training in humans—results from a randomized controlled training trial. *BMC medicine*. 2013; 11:235. eng. doi: [10.1186/1741-7015-11-235](#) PMID: [24191966](#)

# Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training

Stian Ellefsen,<sup>1</sup> Daniel Hammarström,<sup>1</sup> Tor A. Strand,<sup>2</sup> Erika Zacharoff,<sup>1</sup> Jon E. Whist,<sup>2</sup> Irene Rauk,<sup>2</sup> Håvard Nygaard,<sup>1</sup> Geir Vegge,<sup>1</sup> Marita Hanestadhaugen,<sup>2</sup> Mathias Wernbom,<sup>4,5</sup> Kristoffer T. Cumming,<sup>3</sup> Roar Rønning,<sup>2</sup> Truls Raastad,<sup>3</sup> and Bent R. Rønnestad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lillehammer University College, Lillehammer, Norway; <sup>2</sup>Innlandet Hospital Trust, Lillehammer, Norway; <sup>3</sup>Norwegian School of Sport Science, Oslo, Norway; <sup>4</sup>Lundberg Laboratory for Orthopaedic Research, Department of Orthopedics, The Sahlgrenska Academy at University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden; and <sup>5</sup>Center for Health and Performance, Department of Food and Nutrition and Sport Science, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden

Submitted 4 December 2014; accepted in final form 20 July 2015

**Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, Zacharoff E, Whist JE, Rauk I, Nygaard H, Vegge G, Hanestadhaugen M, Wernbom M, Cumming KT, Rønning R, Raastad T, Rønnestad BR.** Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 309: R767–R779, 2015. First published July 22, 2015; doi:10.1152/ajpregu.00497.2014.—Limited data exist on the efficacy of low-load blood flow-restricted strength training (BFR), as compared directly to heavy-load strength training (HST). Here, we show that 12 wk of twice-a-week unilateral BFR [30% of one repetition maximum (1RM) to exhaustion] and HST (6–10RM) of knee extensors provide similar increases in 1RM knee extension and cross-sectional area of distal parts of musculus quadriceps femoris in nine untrained women (age  $22 \pm 1$  yr). The two protocols resulted in similar acute increases in serum levels of human growth hormone. On the cellular level, 12 wk of BFR and HST resulted in similar shifts in muscle fiber composition in musculus vastus lateralis, evident as increased MyHC2A proportions and decreased MyHC2X proportions. They also resulted in similar changes of the expression of 29 genes involved in skeletal muscle function, measured both in a rested state following 12 wk of training and subsequent to singular training sessions. Training had no effect on myonuclei proportions. Of particular interest, 1) gross adaptations to BFR and HST were greater in individuals with higher proportions of type 2 fibers, 2) both BFR and HST resulted in approximately four-fold increases in the expression of the novel exercise-responsive gene Syndecan-4, and 3) BFR provided lesser hypertrophy than HST in the proximal half of musculus quadriceps femoris and also in CSA<sub>peak</sub>, potentially being a consequence of pressure from the tourniquet utilized to achieve blood flow restriction. In conclusion, BFR and HST of knee extensors resulted in similar adaptations in functional, physiological, and cell biological parameters in untrained women.

low-load blood flow-restricted training; heavy-load strength training; muscle strength and mass; muscle fiber; gene expression

BLOOD FLOW-RESTRICTED LOW-LOAD STRENGTH TRAINING (BFR) provides comparable improvements in muscle strength and muscle mass to those seen after traditional heavy-load strength training (HST) (33, 34, 66). This similarity is evident despite utilization of protocols with training loads as low as 20% of one repetition maximum (1RM) (33), far below recommenda-

tions set for strength training, typically advocating loads >60–80% of 1RM to obtain sufficient mechanical stress to maximize muscular adaptations (52). It has, thus, been argued that muscular adaptations seen after BFR are dependent on cellular stressors, such as metabolic/oxidative stress (48, 73), hyperemia, and cell swelling (35, 48) rather than mechanical stressors. This could well involve signaling through alternative pathways (22), a notion that is supported by the unprecedented ability of BFR to activate myogenic satellite cells (46), its seemingly superior ability to stimulate type 1 fibers (8, 46), and its claimed ability to result in more pronounced changes in serum concentrations of human growth hormone (s-HGH) (40, 65). Contrasting this, others have speculated that BFR protocols exhibit type 2 fiber-dominant features (38) and display hormonal responses similar to HST (30).

It is surprising that a mere handful of studies have investigated gene expression responses to BFR. Such information would arguably provide hallmark information on cell-signaling events. Of the few studies that have looked into the subject, all have assessed a scarce number of genes (12, 32, 33, 39), with only one study having compared BFR to HST directly (33). Furthermore, no study has investigated effects of BFR on muscle fiber composition, which should be of particular interest given the hypothesized fiber-type specificity of BFR protocols, potentially leading to reduced stress of type 2 fiber (8), potentially skewing the expected transition of glycolytic 2X fibers into aerobic 2A fibers (1, 17, 63).

The aim of the present study was to compare functional and biological efficacies of typical BFR and HST leg extension protocols in previously untrained women using a within-subject design. The overall hypothesis was that BFR and HST would lead to similar increases in muscle strength and muscle cross-sectional area (CSA) but that they would result in different adaptations and responses on the cellular level. We investigated effects of 12 wk of twice-a-week training and acute responses to singular training sessions on outcome variables such as 1RM knee extension, CSA of distal and proximal halves of musculus quadriceps femoris (QUAD) and musculus vastus lateralis (VL), serum hormone levels, and muscle fiber composition and gene expression in VL. Gene expression analyses included 29 genes previously ascribed wide ranges of roles in muscle function or plasticity, with the overall aim being to compare BFR- and HST-induced responses using a correlation-based approach.

Address for reprint requests and other correspondence: S. Ellefsen, Lillehammer Univ. College, P.O. Box 952, N-2604, Lillehammer, Norway (e-mail: stian.ellefsen@hil.no).

## METHODS

**Ethics statement.** The Regional Committees for Medical and Health Research Ethics in Southeast Norway (2010/2679) approved the study, which was performed in accordance with the Declaration of Helsinki. All subjects signed a written informed consent prior to study participation. For an overview of the intervention protocol, see Fig. 1.

**Experimental design.** Fifteen healthy untrained female volunteers ( $23 \pm 3$  yr,  $167 \pm 8.0$  cm, and  $70 \pm 20$  kg) were recruited from a student population. Inclusion was limited to individuals who had performed less than one strength training session per week for the 6 mo leading up to the study. Three subjects did not complete the study for reasons unrelated to the study protocol. The training protocol consisted of 12 wk of two unilateral knee-extension exercises per leg per week (Technogym Silver Line, Gambettola, Italy). In a randomized manner, BFR was allocated to one leg, while HST was allocated to the other leg. The rationale behind choosing such a with-subject protocol, as opposed to a between-subject protocol, was to enable comparison of the two training modalities in a manner that was not limited by the large variation typically seen in training responses between human subjects (67). To lower the probability of contralateral effects of either of the two training protocols, i.e., to avoid training of one leg from affecting the other leg, BFR and HST were performed on different days in an alternating fashion; i.e., each subject performed training four days a week, two for each mode of training. This is in line with data presented by Madarama et al. (36), who found contralateral effects to BFR only in limbs (i.e., arms) that performed training on the same day. BFR and HST protocols utilized in the current study represent two quite typical and proven protocols for each type of exercise, which, indeed, was the practically relevant rationale for comparing them.

Prior to the start of the 12-wk training program, each subject was given supervised familiarization sessions to ensure proper lifting technique and testing procedures. For both BFR and HST protocols, the duration of each concentric and eccentric phase was set to 1 s, monitored using a metronome. Subsequent to the familiarization session (>48 h), 1RM in unilateral knee extension was determined, using the same knee-extension apparatus as was utilized during training. 1RM testing was repeated after 6 and 12 wk of training.

Throughout the intervention, each training session was preceded by 10 min of general warmup on a spinning cycle. Certified personnel supervised all training sessions. During BFR sessions, blood flow restriction was induced by a 18-cm-wide pressure cuff (Delfi Medical, Vancouver, Canada) connected to a tourniquet system (Welch Allyn, Skaneateles, NY). The cuff was wrapped around the proximal part of the thigh. For the initial 6 wk of the intervention, the cuff was inflated to 90 mmHg, whereupon the pressure was increased to 100 mmHg. The BFR protocol consisted of five sets of repetitions to failure at 30% of 1RM, calculated from 1RM tests performed at *week 0* (wk0) and *week 6*, with 45-s rest between sets, and it was a modified version of the protocol presented in Wernbom et al. (72). This resulted in an average weekly training volume of  $1,221 \pm 320$  reps  $\times$  kg. Between 1RM tests, training progression occurred through increased numbers of repetitions (to exhaustion) at the constant workload of 30% of 1RM. As an example of the number of repetitions performed in each of the five sets in a given training session, in *week 5*, subjects typically performed the following ranges of repetitions: *set 1*, 35–45 reps; *set*

*2*, 20–30 reps; *set 3*, 10–20 reps; *set 4*, 8–15 reps; *set 5*, 6–12 reps. The cuff was kept in an inflated state throughout BFR sessions, including during periods of rest. For details about the conducted training, see Table 1.

The HST protocol consisted of three sets of 6–10RM, with 90-s rest between sets. Variation of training load was done on a session-to-session basis throughout the training period, with each subject performing the first HST session of each week with a 10RM load and the second session with a 6RM load, corresponding to 74–81% and 85–92% of 1RM, respectively, as referred to 1RM tests performed at *weeks 0* and *6* (Table 1). This resulted in an average weekly training volume of  $813 \pm 138$  reps  $\times$  kg, which was significantly lower than the BFR training volume ( $1,221 \pm 320$  reps  $\times$  kg,  $P < 0.05$ ). Subjects continuously increased training loads to meet target RM loads, ensuring training progression. Assistance was allowed on the last repetition of each training set to ensure full ranges of motion and target training loads. For details about the conducted training, see Table 1.

**Muscle biopsies and blood samples.** Biopsies were sampled from VL of both legs using the Bergström procedure, as previously described (16). Biopsy sampling was performed at the following time points: 1) in a rested state at wk0, 2) 1 h after completing BFR and 10RM HST sessions at wk0 (representing the two training sessions succeeding the familiarization session), 3) in a rested state at *week 12* (wk12), and 4) 1 h after completing BFR and 10RM HST at wk12 (the two last training sessions). The first biopsy was sampled from an area situated  $\sim 1/3$  along the length of femur, as related to its distal end-point in the knee. Subsequent biopsies were sampled 2 cm proximally to the previous biopsy. Biopsy sampling was performed under local anesthesia (xylocain + adrenaline, 10 mg/ml + 5  $\mu$ g/ml, AstraZeneca PLC, London, UK), and typically resulted in  $\sim 200$  mg of muscle tissue per subject per sampling day ( $2-3 \times 50-150$  mg). Biopsies were obtained from 9 of the 12 subjects, with the remaining three subjects choosing to refrain from such sampling. To reduce the total number of sampling events, rested-state biopsies at wk0 were collected from one leg only, allocated to either the right or the left leg in a randomized manner. Subjects were instructed to abstain from physical activity for the last 48 h leading up to biopsy-sampling events and were instructed to abstain from ingesting anything other than H<sub>2</sub>O for the last 2 h leading up to biopsy sampling/training. Adherence to these routines was ascertained through oral communication. For each particular subject, every biopsy-sampling event was performed at the same time of day. Biopsy material for immunohistochemistry were immersed immediately in 10% buffered formaldehyde solution (Chemi-Teknik AS, Oslo, Norway), wherein they were left to fixate for 3 or 4 days before further preparation. Biopsy material for RNA analyses were immersed immediately in RNAlater (Ambion, Life Technologies, Carlsbad, CA) and was treated according to the manufacturer's protocol before storage at  $-80^{\circ}\text{C}$  until RNA extraction.

Blood samples for hormonal analyses were sampled at the following time points: 1) in a rested state at wk0 (immediately prior to BFR and HST sessions), 2) 1 min and 30 min after completing BFR or HST training at wk0, 3) in a rested state at wk12 (immediately prior to BFR or HST sessions), and 4) 1 min and 30 min after completing BFR or HST training at wk12. Unfortunately, in connection with BFR at wk0, we were unable to retrieve blood samples from two of the subjects. These subjects are, thus, not included in the wk0 data set. In resem-

Fig. 1. Overview of the strength-training intervention. BFR, blood flow-restricted strength training; HST, heavy-load strength training; 1RM, 1 repetition maximum; MR, magnetic resonance imaging.

Wk 1	Wk 2	Wks 3-4	Wks 5-16	Wk 17-18
- Familiarization sessions: 1RM leg extension, BFR and HST training protocols	- 1RM leg extension	- MR - Muscle biopsies <i>m. vastus lateralis</i> , rested and 1h after BFR or HST sessions (performed on separate days) - Blood, sampled before and after BFR and HST	- Training intervention: BFR and HST, two session per week, performed in a contralateral manner, on alternating days	- 1RM leg extension - MR - Muscle biopsies <i>m. vastus lateralis</i> , rested and 1h after BFR and HST sessions (performed on separate days)

Table 1. Characteristics of blood-flow-restricted training and heavy-load strength training during the first (week 1), middle (week 6), and last week of training (week 12)

	BFR			HST					
	Week 1	Week 6	Week 12	Week 1		Week 6		Week 12	
				3 × 10 RM	3 × 6 RM	3 × 10 RM	3 × 6 RM	3 × 10 RM	3 × 6 RM
Relative intensity, % 1RM	30 ± 0	30 ± 0	30 ± 0	74 ± 9	85 ± 8	78 ± 6	88 ± 4	81 ± 5	92 ± 4
Number of reps per session	76 ± 19	103 ± 26	106 ± 25	30 ± 0	18 ± 0	30 ± 0	18 ± 0	30 ± 0	18 ± 0
Sets per session	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Training volume per session, kg	934 ± 275	1215 ± 372*	1324 ± 395*	803 ± 194	553 ± 113	911 ± 164*	617 ± 108*	1004 ± 194*	681 ± 136*

Values are expressed as means ± SD. BFR, blood flow-restricted training; HST, heavy-load strength training; RM, repetition maximum. \*Significant changes in training volume from week 1 ( $P < 0.05$ ).

blance with the protocol followed during biopsy sampling, subjects were instructed to abstain from physical activity for the 48 h leading up to blood-sampling events and to abstain from ingestion of anything other than water for the 2 h preceding sampling. Blood samples were drawn from an antecubital vein into serum-separating tubes and were incubated at room temperature for 30 min before centrifugation at 1,400 g for 15 min. Serum was stored at  $-80^{\circ}\text{C}$  until analysis.

**Magnetic resonance imaging.** CSAs of QUAD and VL were assessed in all 12 subjects at wk0 and wk12 using magnetic resonance (MR) imaging (Philips Achieva 1.5 T, Philips Healthcare, Best, The Netherlands), according to manufacturer's protocol. Images were analyzed in a blinded fashion, using OsiriX version 5.6 (Pixmeo, Geneva, Switzerland). During subsequent analyses, QUAD and VL were divided into proximal and distal halves, which were treated separately. The boundaries between the two halves were defined by the two images showing the highest CSA. In QUAD, these two images were also utilized to calculate peak CSA ( $\text{CSA}_{\text{peak}}$ ). Prior to MR scanning, subjects were instructed to abstain from physical activity for the last 48 h leading up to scanning and were instructed to abstain from ingestion of food and drinks for the last 2 h. Analyses of MR images were performed in a blinded fashion. For representative MR images, see Fig. 4B.

**Immunohistochemistry.** For determination of muscle fiber composition, formalin-fixed muscle biopsies were processed using an Shandon Excelsior ES (Thermo Scientific, Waltham, MA), before it was paraffin-embedded and sectioned ( $4\ \mu\text{m}$ ), whereupon transverse, serial sections were labeled for MyHC1 (A4.840), MyHC2A (EPR5280), and MyHC2X (6H1), as previously described (17). For images showing representative labeling, see Fig. 2A. A minimum of 200 fibers were assessed, as recommended by Blomstrand and Ekblom (3), performed using Photoshop CS5 Extended (Adobe, San Jose, CA), in a blinded fashion. Unfortunately, the specific protocol utilized for paraffin-embedment of tissues prohibited us from performing fiber type-specific analyses of CSA. In short, the embedment

process caused something resembling dehydration of muscle fibers, leading to slight and somewhat unevenly distributed changes in fiber sizes. This did not affect muscle fiber integrity and thus had no effect on muscle fiber-type characterization. Moreover, because of a technical challenge with the 6H1 antibody, which might be related to the low stability of the antibody, as discussed in Ellefsen et al. (17), we lack complete data on MyHC composition from one subject, which was, hence, removed from the data set prior to analysis.

For the sake of the muscle fiber proportions calculated and presented in the current study, MyHC1/2A hybrid fibers were counted as  $0.5 \times \text{MyHC1}$  and  $0.5 \times \text{MyHC2A}$ , i.e., as being half type 1 fiber and half type 2A fiber, as outlined in Ellefsen et al. (17); i.e., hybrid fibers are not presented as separate entities in our analyses. With regard to MyHC2A/2X hybrid fibers, a particular issue became evident during analyses, as all fibers that labeled positively using the 2X antibody also labeled positively using the 2A antibody, but not vice versa, resembling the observation recently made by Fry et al. (20). This either means that all 2X-positive fibers are 2X-2A hybrids, or that the 2A-antibody recognizes the 2X antigen in addition to recognizing the 2A antigen, as discussed in Ellefsen et al. (17). Importantly, the former claim cannot be disregarded, as a moderate to very large proportion of MyHC2X-positive fibers are known to coexpress MyHC2A (2, 31, 60, 61). Indeed, it has been proposed that only 1 in 1,000 MyHC2X-positive fibers express MyHC2X only (2). This being said, the second claim regarding a low specificity of 2A-antibodies has been argued before and seems to be a particular issue when working with human muscle biopsies (61). This was actually what led us to utilize the rather untested EPR5280 antibody in the first place, after first encountering the double-staining dilemma using the SC-71 antibody. For the sake of the present study, we have chosen to refer to all double-stained 2A-2X fibers as 2X fibers, in essence meaning that they are 2X-positive fibers, regardless of whether they represent hybrid fibers or not.

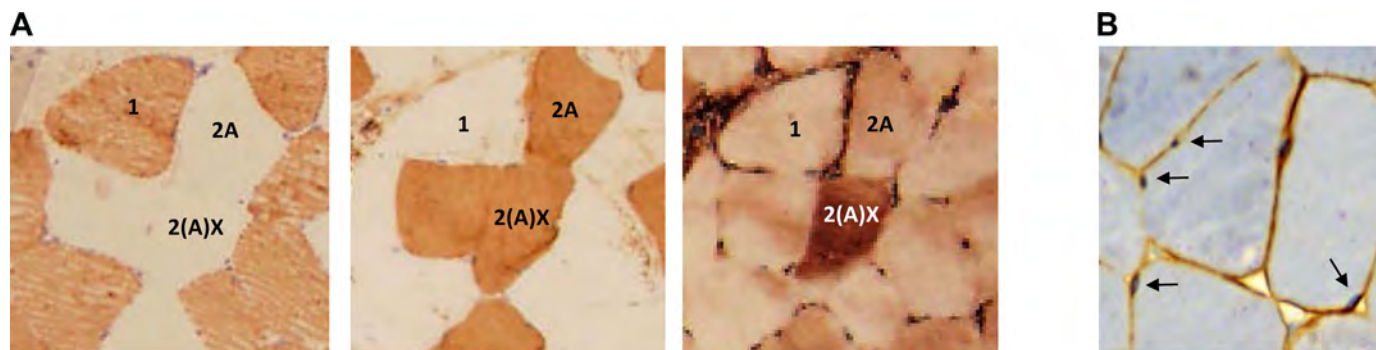


Fig. 2. Representative immunohistochemical staining of myosin heavy chains (A) in serial sections of human skeletal muscle using antibodies toward MyHC1 (1; A4.840), MyHC2A (2A; EPR5280), and MyHC2X [2(A)X; 6H1] and dystrophin (B) with hematoxylin staining of nuclei. Arrows indicate myonuclei.

For determination of myonuclei numbers, we first stained the sarcolemma using a dystrophin-specific antibody (ab15277), as described above, followed by hematoxylin staining (Ventana Medical Systems, Oro Valley, AZ). During subsequent analyses, myonuclei were defined as nuclei that were located to the intracellular side of the dystrophin layer (Fig. 2B) and were counted on a per muscle fiber basis. On average,  $101 \pm 23$  muscle fibers were analyzed per subject, being in the range of 52–140, and  $\sim 1.8$  myonuclei were counted per muscle fiber, which is somewhat lower than reported by Nielsen et al. (46) (2.3–3.4 myonuclei per muscle fiber). This slight discrepancy could be related to the utilization of thinner tissue sections in our study (4  $\mu\text{m}$  vs. 8  $\mu\text{m}$ ), which would naturally contain fewer nuclei. Myonuclei quantification was performed in a blinded fashion. For a representative image of dystrophin and nuclei staining, see Fig. 2B.

**Gene expression.** Gene-specific primers for reference genes and target genes were designed as previously described (16, 17), using Primer3 Plus (68). For each gene, a minimum of three primer pairs were designed (16), with exception of the MyHC genes, for which a minimum of five primer pairs were designed (17). To avoid genomic contamination from affecting gene expression analyses, primer pairs

were either located to span exon-exon boundaries containing genomic introns more than  $\sim 1,000$  nucleotides or to include at least one primer positioned directly across an exon-exon boundary, whenever possible. HPLC-purified primers were ordered from Thermo Scientific. All primer pairs were tested using the below described quantitative RT-PCR protocol, employing a primer concentration of 100 nM and an annealing temperature of 60°C. The primer pair showing the lowest Ct value and at the same time showing distinct melting curves were chosen. Primers sequences are given in Table 2.

Total RNA was extracted from muscle biopsies using TRIzol reagent (Invitrogen, Life Technologies, Carlsbad, CA), as previously described (14). Care was taken to remove all remnants of RNA later from biopsies. Two-hundred-and-fifty-picogram external reference gene (mw2060) was added per milligram muscle tissue prior to homogenization to allow validation of internal reference gene expression on a per milligram tissue basis, as developed in Ellefsen et al. (14). RNA quantities were obtained using Nanodrop (Thermo Scientific, Waltham, MA), whereupon reverse transcription was performed on 500  $\mu\text{g}$  of total RNA using Superscript III reverse transcriptase (Invitrogen), primed with both random hexamers (Ambion, Life

Table 2. Sequences of quantitative RT-PCR primers utilized for analysis of mRNA expression

Gene		Primers for qRT-PCR		qRT-PCR Characteristics	
<i>PPIA</i>	F	GGTTTATGTGTCAGGGTGGTG	R	TCCCATAGATGGACTTGC	$E = 2.00 \pm 0.06$ $Ct = 24.8 \pm 1.5$
$\beta_2$ -m	F	GAGGCTATCCAGCGTACTCC	R	TCCATTCTCTGCTGGATGAC	$E = 2.00 \pm 0.04$ $Ct = 22.6 \pm 1.5$
<i>RPL32</i>	F	TTAAGCGTAACTGGCGGAAAC	R	GGCCCTTGAATCTTCTACGAAC	$E = 1.98 \pm 0.13$ $Ct = 21.1 \pm 1.6$
<i>PolR2A</i>	F	GGAGATCTTCACGGTGCTG	R	AGCCATCAAAGGAGATGACG	$E = 1.97 \pm 0.05$ $Ct = 29.2 \pm 1.3$
<i>B-actin</i>	F	ACCCCGTGTGCTGCTGAC	R	AACATGATCTGGGTCATCTTCTC	$E = 1.96 \pm 0.05$ $Ct = 25.5 \pm 1.5$
<i>MyHC1</i>	F	AGGAGCTCACCTACCAGACG	R	TGCAGCTTGTCTACCAGGTC	$E = 1.93 \pm 0.03$ $Ct = 21.3 \pm 1.5$
<i>MyHC2A</i>	F	AACATGAGAGGGCGAGTGAAG	R	GTGTTGGATTGTTCTCAGC	$E = 1.83 \pm 0.04$ $Ct = 23.5 \pm 1.5$
<i>MyHC2X</i>	F	TGGTGGACAACTGCAAGC	R	TTGTTCTCCGCTTCTTCAG	$E = 1.79 \pm 0.05$ $Ct = 24.9 \pm 1.7$
<i>PGC1<math>\alpha</math> s4</i>	F	TGTGCCATATCTTCCAGTGACC	R	TGCAGTTCGAGAGAGTTCGAC	$E = 1.97 \pm 0.07$ $Ct = 24.8 \pm 2.7$
<i>Ankrd2</i>	F	AGAAGCTGCCCATGGACTTG	R	TTGGCCCTTACACCTTCTGC	$E = 1.91 \pm 0.04$ $Ct = 25.5 \pm 2.1$
<i>FGF6</i>	F	TGGTGAAGTCTTTGGAGTGAG	R	TTGTTGGGAGGGAGGGTTTC	$E = 1.99 \pm 0.05$ $Ct = 27.4 \pm 1.5$
<i>IGF1Ea</i>	F	ATGCCCAAGACCCAGAAGG	R	CATCTGTAGTCTTGTTCCTG	$E = 1.98 \pm 0.10$ $Ct = 28.7 \pm 2.1$
$\beta$ -catenin	F	TGGCAACCAAGAAAGCAAGC	R	ACAGATAGCACCTTCAGCACTC	$E = 1.93 \pm 0.09$ $Ct = 26.3 \pm 2.6$
<i>Myostatin</i>	F	CCATGCGCTACAGAGTCTGATTTTC	R	AGAAGCAACATTTGGGTTTTC	$E = 1.95 \pm 0.09$ $Ct = 30.1 \pm 2.9$
<i>Follistatin</i>	F	GTGCATCCTAAAGGCAAGATG	R	CCGACAAGTCTTTTACATCTGC	$E = 1.83 \pm 0.06$ $Ct = 34.5 \pm 1.7$
<i>PAX7</i>	F	AGCTGGAGAAGCCCTTTGAG	R	TACTGAACAGACCTGCACAC	$E = 1.97 \pm 0.05$ $Ct = 31.5 \pm 1.5$
<i>MCAD</i>	F	AGCGTCATCTACAGCATCCAG	R	AAACGCTCTTAGCCTGAAGC	$E = 1.97 \pm 0.05$ $Ct = 30.1 \pm 1.4$
<i>ITGA7</i>	F	GGCTTTCCAGATATTGCACTGG	R	TGCTCCATGGTAGATGAAGAC	$E = 2.00 \pm 0.05$ $Ct = 27.0 \pm 1.4$
<i>Jagged-1</i>	F	ACATGTGGCCATTTCTGCTG	R	CAATCAGCGAGCTGTTTCCATC	$E = 1.97 \pm 0.05$ $Ct = 30.2 \pm 1.2$
<i>CAV-1</i>	F	CCTAAACACCTCAACGATGACG	R	TCTGACAGTGAAGTGGTG	$E = 1.97 \pm 0.04$ $Ct = 26.0 \pm 1.4$
<i>MYOG</i>	F	AGCGAATGCAGCTCTCACAG	R	AGATGATCCCTGGGTTGG	$E = 1.97 \pm 0.05$ $Ct = 28.4 \pm 1.2$
<i>MYOD</i>	F	ACGGCATGATGGACTACAGC	R	TTGTAGTAGGCGCCTTCGTAG	$E = 1.90 \pm 0.05$ $Ct = 31.8 \pm 1.5$
<i>MRF4</i>	F	ATAACGGCTAAGGAAGGAGGAG	R	AGAAAGGCATCGAAGGCTACTC	$E = 1.99 \pm 0.04$ $Ct = 27.1 \pm 0.9$
<i>MYF5</i>	F	AACCTCTCTGATGGCATGC	R	AGTACTGCTCTTTGGACCAG	$E = 1.96 \pm 0.08$ $Ct = 31.6 \pm 1.6$
<i>SYND4</i>	F	TGAAGTTGTCCATCCCTTGGTG	R	TCAACGGGTGAGATTCTCTTGG	$E = 1.95 \pm 0.13$ $Ct = 26.7 \pm 3.0$
<i>MuRF1/TRIM63</i>	F	TGTGCAGACCATCATCACTCAG	R	AACTTCTGGCTCAGCTCTTCC	$E = 1.97 \pm 0.04$ $Ct = 25.9 \pm 1.4$
<i>MuRF2/TRIM55</i>	F	TGCCCATCCTGTAGACATGAAG	R	GCTGGTCCGATTCTTTTCTGG	$E = 1.98 \pm 0.05$ $Ct = 27.4 \pm 1.1$
<i>REDD1</i>	F	TGGACAGCAGCAACAGTGG	R	TCACTGAGCAGCTCGAAGTC	$E = 1.93 \pm 0.10$ $Ct = 28.9 \pm 2.9$
<i>REDD2</i>	F	TTGCTGGACTGTGGCTATCAC	R	CAAGGACCTTTGAGCAACCAAG	$E = 1.96 \pm 0.10$ $Ct = 26.5 \pm 1.8$
<i>SRF</i>	F	CAGTGCAGGCCATTCAGTG	R	AGTTGTGGGACCGATGAC	$E = 1.95 \pm 0.09$ $Ct = 28.0 \pm 2.7$
<i>Arkadia/RNF111</i>	F	GGCATGGATCAAGCATGGTTG	R	GCTTGATGATGAAGTGGCCTTG	$E = 1.84 \pm 0.04$ $Ct = 33.3 \pm 1.5$
<i>Atrogin-1/FBXO32</i>	F	CGATGTTACCCCAAGGAAAGAGC	R	TCAGTGGCCCTCCAGGAAAG	$E = 1.98 \pm 0.13$ $Ct = 25.3 \pm 3.3$
<i>cSKI</i>	F	CGACGTGAAGGAGAAATTCGAC	R	CGGCTTGCTCTTTTCGGAAG	$E = 1.95 \pm 0.09$ $Ct = 29.7 \pm 2.9$
<i>SnoN</i>	F	GGGCTTTGAATCAGCTAAATGG	R	TCTGATGGTGCATCTGTCTTG	$E = 1.89 \pm 0.09$ $Ct = 27.9 \pm 2.8$
<i>Titin</i>	F	TGAGTTCACGACGCTTTATGGG	R	TAGGCGGAATTCCTCTTATGCC	$E = 1.93 \pm 0.05$ $Ct = 20.6 \pm 1.7$
<i>LMNA</i>	F	GAACATCTACAGTGAGGAGCTG	R	TCTCAAACCTCAGCTGCCTTC	$E = 1.86 \pm 0.04$ $Ct = 30.9 \pm 1.1$

Values are expressed as means  $\pm$  SD. Priming efficiencies ( $E$ ) and cycle threshold ( $Ct$ ) values are given in the two rightmost columns as an average of all quantitative RT-PCR reactions. F, forward primer; R, reverse primer; *PPIA*, peptidylprolyl isomerase A;  $\beta_2$ -m,  $\beta_2$ -microglobulin; *RPL32*, ribosomal protein L32; *PolR2A*, polymerase (RNA) II (DNA directed) polypeptide A; *MyHC1*, 2A, and 2X, myosin heavy chain 1, 2A and 2X; *PGC1 $\alpha$  s4*, peroxisome proliferator-activated receptor gamma, coactivator 1 alpha, splice variant 4; *Ankrd2*, ankyrin repeat domain 2; *FGF6*, fibroblast growth factor 6; *IGF1Ea*, insulin-like growth factor 1, splice Ea; *PAX7*, paired box 7; *MCAD*, M-cadherin; *ITGA7*, integrin,  $\alpha 7$ ; *CAV1*, caveolin 1; *MYOG*, myogenin/myogenic factor 4; *MYOD*, myogenic differentiation 1/myogenic factor 3; *MRF4/MYF6*, muscle regulatory factor 4/myogenic factor 6; *MYF5*, myogenic factor 5; *SYND4*, syndecan 4; *MuRF1/TRIM63*, muscle-specific RING finger protein 1/tripartite motif containing 63; E3 ubiquitin protein ligase; *MuRF2/TRIM55*, muscle-specific RING finger protein 2/tripartite motif containing 55; *REDD1* and 2, protein regulated in development and DNA damage response 1 and 2; *SRF*, serum response factor; *RNF111*, ring finger protein 111; *FBXO32*, F-box protein 32; *cSKI*, V-Ski avian sarcoma viral oncogene homolog; *SnoN*, SKI-like oncogene; *LMNA*, lamin A/C.

Technologies) and oligo d(T) (Ambion, Life Technologies), according to the manufacturer's protocol. For each sample, duplicate cDNA syntheses were performed.

Quantitative real-time PCR (qRT-PCR) was performed on 1/30 dilutions of cDNA using either PerfeCTa SYBR Green FastMix (Quanta Biosciences, Gaithersburg, MD) or SYBR Select Master Mix (Invitrogen) and the 7500 Fast Real-Time PCR System (Applied Biosystems, Life Technologies, Carlsbad, CA). For PerfeCTa-based reactions, cycling consisted of an initial denaturation step at 94°C for 30 s, followed by 39 repeats of 94°C for 3 s and 60°C for 30 s. For SYBR Select Master Mix-based reaction, cycling consisted of initial UDG activation at 50°C for 2 min, followed by denaturation at 95°C for 2 min and 39 repeats of 94°C for 3 s and 60°C for 30 s. For each cDNA synthesis, one qRT-PCR reaction was performed for each gene, meaning that two qRT-PCR reactions were performed per muscle biopsy per gene. For each qRT-PCR reaction, cycle threshold (Ct) was calculated using the 7500 fast real-time PCR System software in an automated manner and priming efficiencies ( $E$ ) were calculated using the LinRegPCR software (51, 55). For final calculations of target gene expression, average priming efficiencies were utilized and calculated separately for each primer pair. Average  $E$  and Ct values are given for each primer pair in Table 2. qRT-PCR analyses were performed in a blinded fashion.

Calculation of target gene expression was either performed using gene-family profiling (GeneFam; for MyHC1, 2A and 2X) (15, 17) or GeNorm (for the remainder of target genes) (69). GeNorm-based analyses were based on geometric evaluation of the expression of five frequently utilized reference genes: peptidylprolyl isomerase A (PPIA, cyclophilin A),  $\beta_2$ -microglobulin ( $\beta_2m$ ), ribosomal protein L32 (RPL32),  $\beta$ -actin ( $\beta$ -a), and polymerase (RNA) II (DNA directed) polypeptide A (Polr2A). PPIA and RPL32 were evaluated to be the two most stable reference genes, with  $M$  values below the 0.7 limit set by Vandesompele et al. (69) and were, therefore, utilized for final calculations of normalization factors. The stability of these genes were confirmed on a per-milligram tissue basis using mw2060 (data not shown), as was also done in Ellefsen et al. (16).

**Hormone assessment.** Serum concentrations of s-HGH, cortisol (s-COR), sex hormone-binding globulin (s-SHBG), and androstendione (s-AND) were measured on an Immulite 2000 analyzer (Siemens Healthcare Diagnostics, Erlangen, Germany), using kits from the Immulite Immunoassay Systems menu (Siemens Healthcare Diagnostics), performed according to manufacturer's protocols. Reference intervals were as follows: s-HGH (<24 mIU/l), s-COR (138–690 nmol/l, morning value), s-SHBG (18–144 nmol/l), and s-AND (1.0–11.5 nmol/l). Coefficients of variation for the analyses were s-HGH 6.5%, s-COR 6.8%, s-SHBG 4.0%, and s-AND 8.5%. Hormone analyses were performed in a blinded fashion.

**Statistics.** Student's paired  $t$ -tests were performed to evaluate within-group effects of BFR and HST on 1RM, MyHC composition (immunohistochemistry and GeneFam-based), myonuclei per muscle fiber, and GeNorm-normalized mRNA expression. To adjust for multiple comparisons, Bonferroni corrections were performed for analyses of mRNA expression ( $\alpha/3$ ). Two-way ANOVA with Holm-Sidak post hoc tests were performed to evaluate effects of BFR and HST on CSA (of VL and QUAD) and serum hormone concentrations. Student's paired  $t$ -tests were performed to evaluate between-group effects of BFR and HST on all parameters. In these analyses, Bonferroni corrections were performed for CSA ( $\alpha/2$ ), serum hormone concentrations ( $\alpha/3$ ), and mRNA expression ( $\alpha/3$ ). Pearson correlation was utilized for correlation analyses. Correlation coefficients ( $r$ ) were interpreted according to Hopkins et al. (25):  $r < 0.1$  = trivial, 0.1–0.3 = small, 0.3–0.5 = moderate, 0.5–0.7 = large, 0.7–0.9 = very large, 0.9 = nearly perfect, and 1.0 = perfect.

For Pearson correlation analyses of MyHC composition and training-induced changes in 1RM and CSA, a special measure of MyHC was developed, wherein immunohistochemistry- and GeneFam-based data were combined, using the ranking principle presented in Vegge

et al. (70) and Ellefsen et al. (16). First, individual proportions of MyHCs (1, 2A, or 2X) were determined using each of the two methods. Data in each of the two data sets were then ranked separately based on MyHC1, 2A, and 2X proportions. To ensure that the two data sets had compatible numerical values prior to calculation of mean values, values from individuals with lesser proportions of MyHC1, 2A, or 2X were divided by values from individuals with higher proportions of each MyHC variant (i.e., data were adjusted to the same scale, with 1.0 as the highest value). In effect, this set the individual with the highest MyHC-content to a MyHC quantity of 1.0, while all others were set to values between 0 and 1. Finally, we calculated mean values of MyHC proportions, using both immunohistochemistry- and GeneFam-data. In effect, this provided us with a combined measure of individually ranked MyHC proportions. Prior to statistical testing, these data were arcsine-transformed, as previously described. It is worth stressing that the outcome of these correlation analyses were not dependent on utilization of our developed combined measure of MyHC, meaning that similarly strong correlations were found using immunohistochemistry- and GeneFam-based data alone. However, in our hands the combined MyHC measure typically provides more consistent data, perhaps by taking into account volumetric variation in MyHC proportions (i.e., through the mRNA-based approach) or by eradicating some of the issues relating to the presence of hybrid fibers, which is a particular issue when quantifying 2X fibers (17).

To ensure normal distribution, data on serum hormone concentrations and GeNorm-normalized mRNA expression (10,000 $\times$  factorized) were log<sub>2</sub>-transformed prior to statistical testing. Similarly, data on MyHC composition were square-root arcsine-transformed, which represents the recommended mode for transformation of proportional data between  $-1$  and  $1$  (13). In general, data are presented as mean, mean  $\pm$  SD, or individual values. MyHC data are presented as means  $\pm$  95% confidence intervals (CI).  $P < 0.05$  was considered significant. Statistical calculations were performed using Excel (Microsoft, Redmond, WA), SigmaPlot 12.5 (Systat Software, San Jose, CA), or R (R Core Team, 50).

## RESULTS

### Effects of 12 wk of BFR and HST on 1RM and muscle CSA.

Twelve weeks of BFR resulted in  $10 \pm 7\%$  increase in unilateral 1RM knee extension performance in previously untrained women ( $P < 0.05$ ; Fig. 3). This was similar to the efficacy of HST, performed by the contralateral leg, which

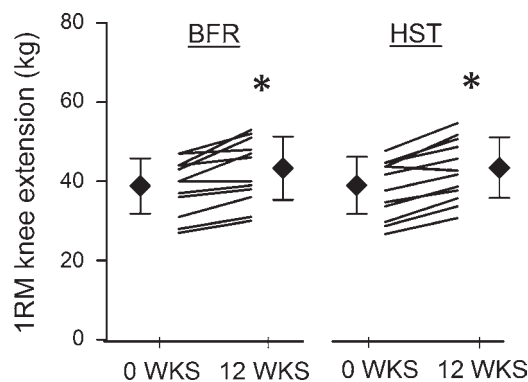


Fig. 3. The effect of 12-wk blood flow-restricted strength training (BFR, left) and heavy-load strength training (HST, right) on 1RM knee extension in previously untrained women ( $n = 12$ ). Each individual performed the two protocols in a contralateral manner. Data are expressed as means  $\pm$  SD ( $\blacklozenge$  with error bars) and individual values (black lines). \*Significant effects of HST and BFR on 1RM performance ( $P < 0.05$ ). No difference was found between HST and BFR.

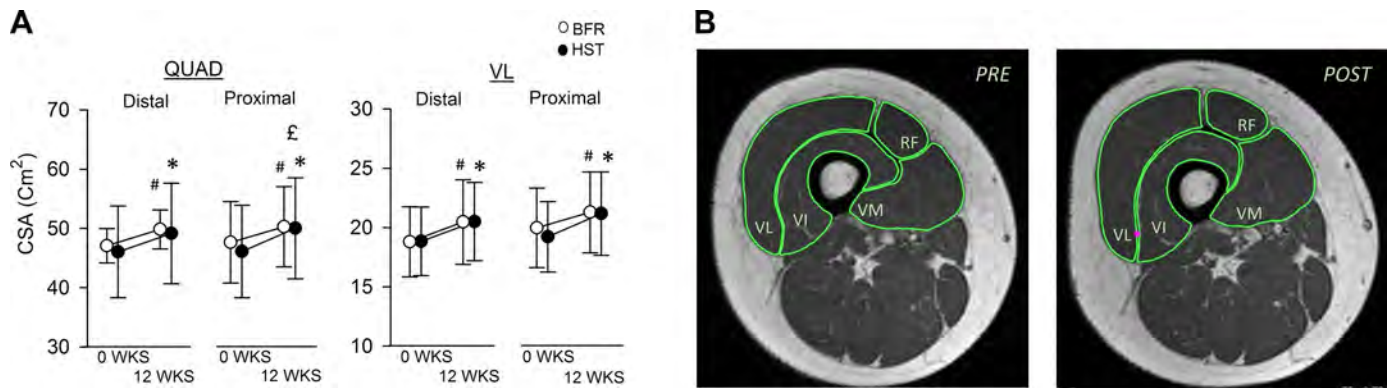


Fig. 4. A: effect of 12-wk BFR (○) and HST (●) on cross-sectional area (CSA) of distal and proximal parts of musculus quadriceps femoris (QUAD, *left*) and musculus vastus lateralis (VL, *right*) in previously untrained women ( $n = 12$ ). Each individual performed the two protocols in a contralateral manner. The border between distal and proximal parts of muscles were defined using images showing the highest cross-sectional area. Data are expressed as means  $\pm$  SD. #Significant effects of BFR on muscle ( $P < 0.05$ ). \*Significant effects of HST on muscle CSA ( $P < 0.05$ ). £Significant differential effects of HST and BFR, measured as the difference in relative change of CSA from baseline ( $P < 0.05$ ). B: representative MR image of the thigh from one subject taken before (PRE) and after (POST) 12 wk of BFR. The four muscle bellies of QUAD is highlighted in green: VL; VI, musculus vastus intermedius; VM, musculus vastus medialis; RF, musculus rectus femoris. This particular individual exhibited a 6.8% increase in the CSA of QUAD and a 9.4% increase in the CSA of VL.

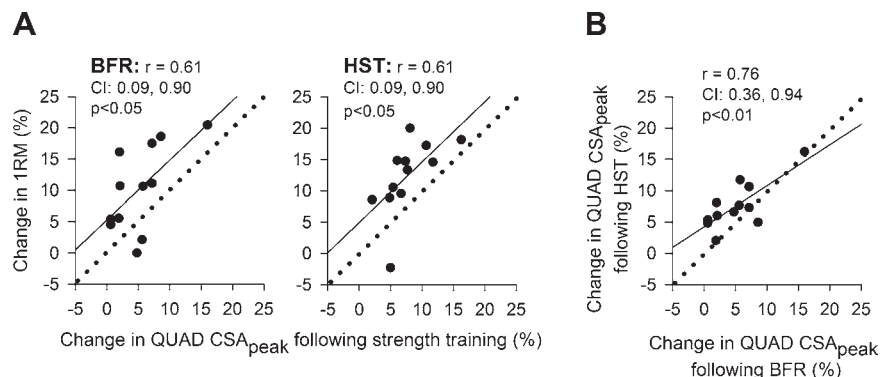
resulted in a  $12 \pm 6\%$  increase in 1RM ( $P < 0.05$ ; Fig. 3). In both legs, increases in 1RM were accompanied by increases in CSA of both distal and proximal halves of QUAD and VL ( $P < 0.05$ ; Fig. 4A). In QUAD, increases in distal CSA was similar between BFR and HST legs ( $6 \pm 4\%$  vs.  $7 \pm 8\%$ , respectively; Fig. 4A), whereas increases in proximal CSA was more pronounced in the HST leg ( $6 \pm 4\%$  vs.  $9 \pm 4\%$ ,  $P < 0.05$ ; Fig. 4A). In VL, increases in distal and proximal CSA were similar between training protocols ( $8 \pm 6\%$  vs.  $7 \pm 5\%$  and  $7 \pm 5\%$  vs.  $10 \pm 5\%$ , respectively; Fig. 4A). In QUAD,  $CSA_{\text{peak}}$  was increased in both BFR and HST legs ( $5 \pm 4\%$  and  $8 \pm 4\%$ , respectively;  $P < 0.05$ ), with a statistical difference being detected between legs ( $P < 0.05$ ), favoring HST. Changes in  $CSA_{\text{peak}}$  of QUAD correlated largely with changes in 1RM in both BFR and HST legs ( $r = 0.61$  and  $r = 0.61$ ,  $P < 0.05$ ; Fig. 5A). In addition, changes in  $CSA_{\text{peak}}$  of QUAD in BFR and HST legs correlated very largely with each other ( $r = 0.76$ ,  $P < 0.05$ ; Fig. 5B).

**Effects of 12 wk of BFR and HST on MyHC composition and myonuclei number.** In muscle biopsies from VL, BFR and HST led to similar changes in MyHC composition. Whereas neither of the training protocols resulted in altered MyHC1 proportions, measured using either immunohistochemistry or GeneFam (Fig. 6), they generally resulted in increased levels of MyHC2A and decreased levels of MyHC2X (Fig. 6), with no

differences being found between protocols. MyHC1/2A hybrid fibers were scarcely abundant and amounted to  $1.0 \pm 0.1\%$  at wk0 and  $0.9 \pm 0.1\%$  at wk12 (in both BFR- and HST-trained legs), with no statistically significant changes being found. Proportions of MyHC1 and MyHC2 at wk0 correlated largely to very largely with changes in 1RM knee extension (Fig. 7A) and CSA of QUAD, respectively (Fig. 7B). Whereas MyHC1 generally showed a large to very large negative correlation with training adaptations (Fig. 7), MyHC2 showed a large to very large positive correlation (Fig. 7). Neither BFR nor HST had effects on myonuclei numbers per muscle fiber (Fig. 8).

**Effects of BFR and HST on serum hormone levels.** At wk0 and wk12, acute sessions of BFR and HST led to equally substantial elevations of s-HGH, both 1 min and 30 min after training ( $P < 0.05$ , Fig. 9A). In addition, at wk0, BFR led to slight elevations of s-COR at both 1 min and 30 min ( $P < 0.05$ , Fig. 9B), while at wk12, it led to slight elevation of s-SHBG at 1 min ( $P < 0.05$ , Table 3). Training had no effect on s-AND (Table 3). Overall, acute hormonal responses to exercise did not differ between training protocols. Notably, we also tried to quantify serum testosterone levels. Unfortunately, these data had to be excluded from subsequent analyses because only three individuals showed serum concentrations above the technical detection limit, apparently without showing signs of training-induced alterations in abundances.

Fig. 5. A: correlation between changes in peak cross-sectional area ( $CSA_{\text{peak}}$ ) of musculus quadriceps femoris (QUAD) and 1RM knee extension performance following 12 wk of BFR and HST in previously untrained women ( $n = 12$ ).  $CSA_{\text{peak}}$  was defined by the part of QUAD showing the largest CSA in postintervention images, assessed using magnetic resonance imaging. Data are individual values. Straight lines illustrate trend lines, while dotted lines indicate a perfect 1:1 slope. CI denotes the 95% confidence interval of Pearson  $r$ . B: correlation between changes in CSA in QUAD following 12 wk of HST and BFR.



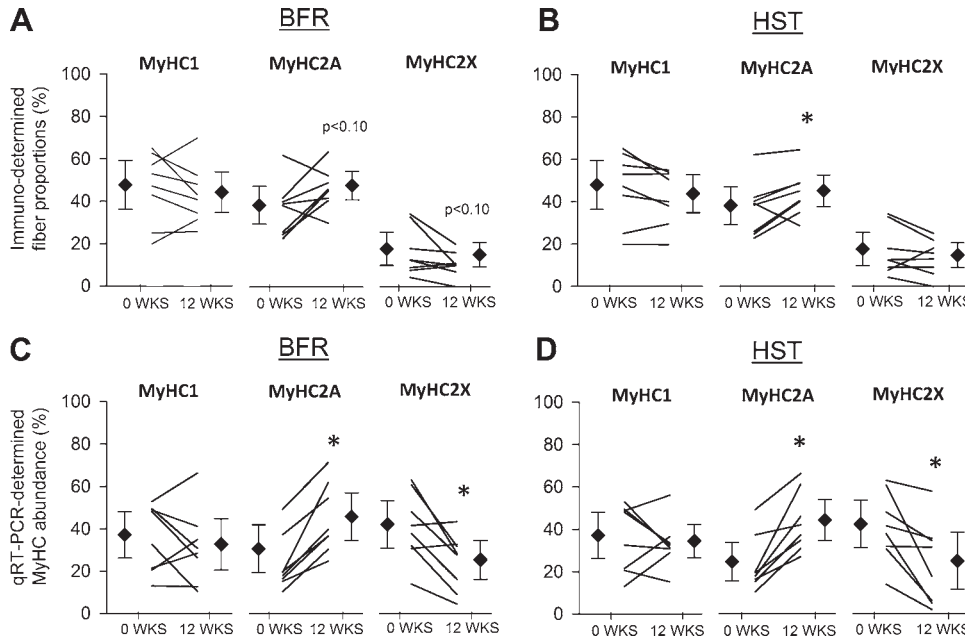


Fig. 6. The effect of 12 wk of BFR (left) and HST (right) on immunohistochemistry (Immuno)-determined muscle fiber proportions (A and B) and qRT-PCR-determined myosin heavy chain (MyHC) composition (C and D) in musculus vastus lateralis of previously untrained women (n = 8). Data appear as proportions of overall MyHC expression. Data are back-transformed means (◊) with 95% confidence intervals and back-transformed individual values (black lines). \*Significant effects of BFR and HST on MyHC proportions (P < 0.05). No difference was found between HST and BFR.

**Effects of BFR and HST on gene expression.** In VL biopsies, BFR and HST had similar effects on expression of the 29 genes involved in muscle function and plasticity investigated (Fig. 10), measured both acutely after training sessions at wk0 and wk12 and in the rested state at wk12. While 12 wk of training had no effect on markers for satellite cells (Fig. 10), training sessions led to marked acute increases in mRNA levels of well-known responder genes to strength training such as PGC1αs4 and MuRF1 (42, 54) at both wk0 and wk12 (P < 0.05, Fig. 10). Of particular interest, acute sessions of BFR and HST led to 1.6–4.2-fold increases in SYND4 expression (P < 0.05, Fig. 10), a gene whose responses to training has not previously been investigated. There were no differences in gene expression responses between the two protocols for any gene at any time point (Fig. 10). This similarity was particularly evident from the very large to nearly perfect correlation between gene expression responses, measured both acutely at wk0 and wk12 and in the rested state after 12 wk of training (Fig. 11). The relative sizes of responses to BFR and HST displayed an approximate 1:1 relationship, as

evident from the trend lines of Fig. 11, exhibiting slopes of 0.87, 0.96, and 1.14.

DISCUSSION

To our knowledge, this is the first study to show that BFR and HST result in similar alterations in muscle fiber composition and gene expression in humans, and the first to compare general responses to these two training modes in women using a within-subject design. The similarities in muscle fiber transitions were evident as increases in MyHC2A proportions and decreases in MyHC2X proportions following 12 wk of training, measured at both the cellular (i.e., protein) and the mRNA level. In addition, training had no effect on MyHC1 proportions. These observations fit nicely with previously observed effects of HST on muscle fiber composition (1, 17, 63). In contrast to our hypothesis, the two protocols had similar effects on expression of 29 genes involved in muscle function and plasticity, with no difference being evident between protocols for any gene at any time point. This similarity is underlined by

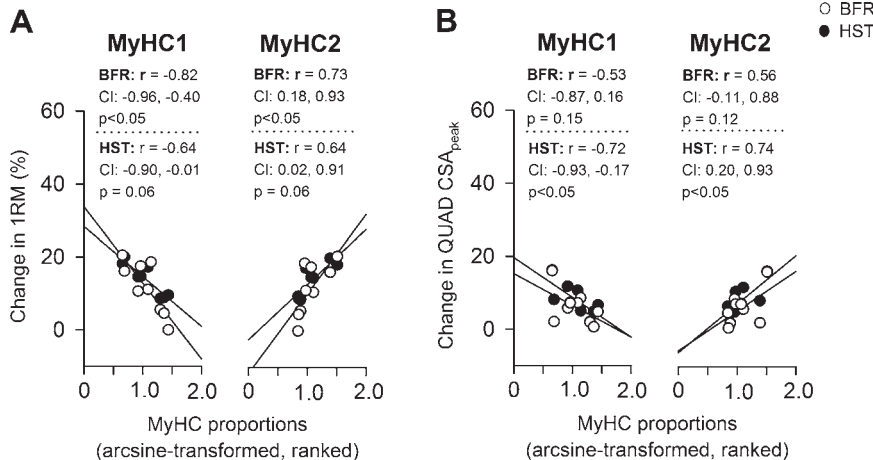


Fig. 7. Correlation between baseline MyHC1 and MyHC2 proportions in musculus vastus lateralis and changes in 1RM performance (A) and CSA<sub>peak</sub> (B) in musculus quadriceps femoris (QUAD) following 12 wk of BFR (○) and HST (●) in previously untrained women (n = 9). Values are individual. MyHC proportions are presented as combined IMMUNO- and qPCR-data, calculated as described in METHODS. CI denotes the 95% confidence interval of Pearson r. Straight lines illustrate trend lines.



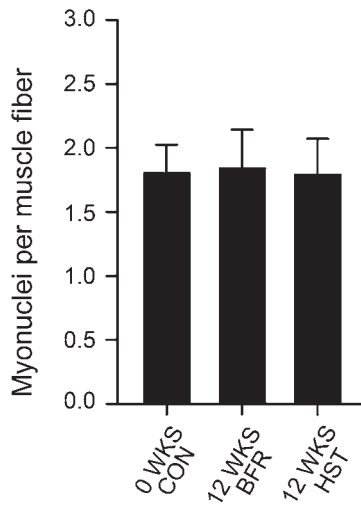


Fig. 8. The effect of 12 wk of BFR and HST on myonuclei numbers, measured per muscle fiber, in musculus vastus lateralis of previously untrained women ( $n = 7$ ). Data are expressed as means  $\pm$  SD. No effect was found of HST or BFR. No difference was found between HST and BFR.

the ~1:1 relationship in gene expression responses to BFR and HST, measured both acutely after training sessions at wk0 and wk12 and as rested-state expression following 12 wk of training. Of particular interest, SYND-4 expression increased acutely after sessions of both protocols, providing the first indication of a role of this gene in cellular adaptations to training. Accompanying these similarities, BFR and HST resulted in similar changes in parameters such as 1RM, CSA of distal QUAD (but not proximal QUAD and CSA<sub>peak</sub>), and acute elevations of s-HGH, all of which support previous findings (30, 33, 34, 66), though discrepancies exist, particularly for s-HGH responses, for which BFR has been previously suggested to be particularly potent (48).

**Strength training and muscle fiber composition.** The fact that BFR and HST were associated with similar 2X→2A shifts in muscle fiber composition in VL is of interest both in a performance and in a health perspective. This particular adaptation suggests improvements in muscle functionality and is especially beneficial for individuals with elevated MyHC2X levels,

such as is observed in many patient groups (37, 43, 45, 64) and as a consequence of aging (9), for whom low-load strength training such as BFR may represent particularly adequate modes of training.

The 2X→2A shift suggests that the two protocols led to similar activation of 2X fibers. According to the size principle of motor unit recruitment (23), these fibers are the last to be recruited during strenuous exercise, and their activation typically triggers differentiation into aerobic 2A phenotypes (1, 17, 63). Fitting with such effective activation of type 2 fibers, BFR and HST affected 1RM and muscle CSA in a manner that was positively associated with increasing proportions of type 2 fibers, which fits generally accepted response patterns to traditional HST (26). While this similarity between BFR and HST may not be entirely surprising, as type 2 fiber-specific responses to BFR have been previously suggested (38), it can be viewed as a contradiction of recent indications of superior effects of BFR on type 1 fibers, as suggested by Nielsen et al. (46) and Cumming et al. (8). Unfortunately, we cannot conclude on this subject, as our paraffin-embedding protocol resulted in dehydration of muscle fibers, with slight and somewhat unevenly distributed changes in fiber sizes, precluding assessment of muscle fiber CSA. Importantly, however, muscle fibers remained intact, leaving other types of immunohistochemical analyses, such as fiber typing and myonuclei quantification, fully feasible.

**Strength training, CSA, and myonuclei.** The observed increases in CSA of QUAD accumulated at rates averaging 0.07% and 0.09% per day in BFR and HST legs, respectively. This is slightly below the training progression generally seen in QUAD in response to periods of two to three weekly strength-training sessions, averaging 0.11% per day (74). Still, the efficiency is relatively high, given the low volume of both training protocols, with each subject performing one single exercise only and doing so in a one-limb-at-a-time manner, reducing the impact of factors such as anabolic hormones and mechanical stress on muscle biology compared with protocols that are more elaborate. The potency of each of the two training protocols were also evident from the marked effects of training on expression of genes such as PGC1 $\alpha$ 4 and MuRF1.

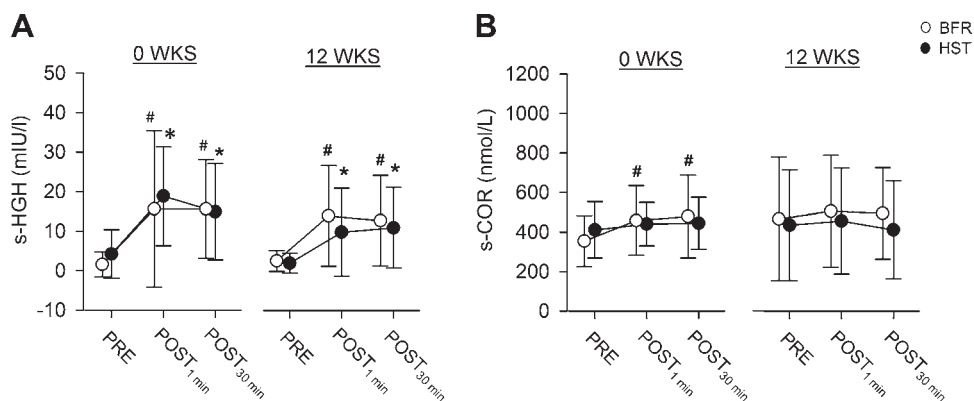


Fig. 9. Serum concentrations of human growth hormone (sHGH) (A) and cortisol (sCOR) (B) measured before (PRE), directly after (POST<sub>1min</sub>), and 30 min after (POST<sub>30min</sub>) bouts of unilateral knee extension exercise of BFR (○) and HST (●) in previously untrained women ( $n = 7$  at 0 WKS and  $n = 9$  at 12 WKS). Each individual performed each of the two training protocols in a contralateral manner, with acute HST and BFR sessions being performed both before (*week 0*) and after (*week 12*) 12 wk of twice weekly HST and BFR, in each case on different days, separated by 4–6 days. mIU/l, milli-international units per liter. Data are expressed as means  $\pm$  SD. #Significant changes caused by BFR ( $P < 0.05$ ). \*Significant changes caused by HST ( $P < 0.05$ ). No difference was found between HST and BFR.

Table 3. Acute effects of bouts of BFR and HST on serum concentrations of sex hormone binding globulin and androstenedione in previously untrained women ( $n = 9$ ), measured 1 min and 30 min after training sessions

	BFR						HST					
	Week 0			Week 12			Week 0			Week 12		
	PRE	POST 1 min	POST 30 min	PRE	POST 1 min	POST 30 min	PRE	POST 1 min	POST 30 min	PRE	POST 1 min	POST 30 min
s-SHBG, nmol/l	117 ± 107	117 ± 96	112 ± 90	110 ± 90	119 ± 96*	112 ± 99	111 ± 78	106 ± 71	107 ± 77	108 ± 87	113 ± 93	107 ± 94
s-AND, nmol/l	10.7 ± 4.8	11.5 ± 7.3	12.2 ± 8.5	10.4 ± 4.8	11.2 ± 7.0	11.0 ± 5.7	13.4 ± 7.8	14.2 ± 9.6	12.6 ± 9.7	11.1 ± 6.4	12.7 ± 5.7	11.2 ± 7.9

Values are expressed as means ± SD. Each individual performed each of the two training protocols in a contralateral manner, with singular sessions of HST and BFR being performed both before (*week 0*;  $n = 7$ ) and after (*week 12*;  $n = 9$ ) 12 weeks of HST and BFR, in each case on different days, separated by 4–6 days. s-SHBG, sex hormone binding globulin; s-AND, sex hormone binding androstenedione. \*Significant changes from baseline caused by BFR or HST ( $P < 0.05$ ). No difference was found between HST and BFR.

Somewhat surprisingly, whereas BFR and HST resulted in similar increases in CSA of distal QUAD, HST resulted in superior increases in CSA of proximal QUAD and CSA<sub>peak</sub>. Interestingly, the proximal part of QUAD coincides with the location of the tourniquet during BFR, suggesting that the tourniquet itself may have had a negative impact on training adaptations. Indeed, studies in rabbits have shown that prolonged placing of an inflated tourniquet (125 mmHg) around the thigh per se results in decreased muscle strength (44) and potentially also decreased muscle fiber CSA (18). In humans, a similar finding was made by Daniels et al. (10), wherein placing a tourniquet around the thigh during anterior cruciate ligament surgery resulted in impaired postoperative recovery of QUAD strength and girth. The hypothesis that the inflated tourniquet itself exerts impairing effects on hypertrophic events during BFR is appealing, perhaps acting to impair hypertrophic events or even induce atrophic events. Indications of such a phenomenon was also found by Kazin and Strazar (27), who noted a tendency toward suppressed increases in CSA in QUAD following BFR at the location under the tourniquet. This impairment has several potential explanations: 1) it may be a direct result of the sheer pressure exerted by the inflated tourniquet itself, 2) it may result from the accompanying extraordinary metabolic/ischemic stress (resulting in “too much” stress), or 3) it may result from altered mechanics of the exercise. Further research is needed to explore this phenomenon and also to elucidate why the impairment was more pronounced in some muscle bellies than in others, being absent or at least less pronounced in VL.

It was also somewhat surprising that the increased CSA of QUAD/VL was not accompanied by increased myonuclei numbers per muscle fiber. Such myonuclei accretion is regarded as an important adaptation to strength training (29, 47), providing the cellular framework for increases in muscle fiber mass. However, there are also studies supporting our finding, and it seems that myonuclei accretion does not always occur after strength training (24, 47, 53). Instead, the increased muscle mass may be supported by increased sizes of myonuclei domains. This would, in essence, mean that strength training leads to better exploitation of available cellular resources, i.e., releasing the full potential of the myonuclei. The lack of increased myonuclei numbers after 12 wk of BFR or HST are supported by the lack of changes in the mRNA expression of satellite cell markers (both acutely and after 12 wk of training). This suggests that the absence of pronounced satellite cell activation, which, in turn, would blunt nuclei accretion, and is highly contradictory to the general finding after both BFR (46,

72) and HST (28). Obviously, this is a controversial interpretation and may well be an artifact of our assessment of satellite cells at the level of mRNA rather than at the level of proteins/cells. It is currently difficult to discern the feasibility of such an mRNA approach, although it has been suggested to be a viable alternative (21). Satellite cell activation needs to be further addressed using immunohistochemistry.

*Strength training and gene expression.* Importantly, the lack of gene expression responses for many of the other genes investigated, such as the myogenic factors (MRFs), do not provide evidence for inadequacies of training protocols. The cyclic nature of gene expression regulation means that training-induced alterations in gene expression are only visible for a limited window of time. This is well exemplified by the up-regulation and down-regulation of MRFs (e.g., 49), representing a biphasic mode of regulation that was certainly also the case in the present study, although being left impossible to detect using the current one-biopsy-only posttraining sampling protocol. Such issues underline the vulnerability of gene expression studies to factors such as study design and individual variation in gene expression responses. Indeed, existing studies of acute gene expression responses to BFR serve as good examples of how such pitfalls complicate study conclusions. In two of the studies, opposite conclusions were reached on the effect of training on MuRF1 expression (12, 39). The underlying explanation behind these discrepancies may well have been related to differences in biopsy sampling timing, being performed at 3 h posttraining in Drummond et al. (12) and at 8 h in Manini et al. (39). Notably, the two studies also incorporated different nutritional strategies, which may also have affected gene expression. Overall, the suitability of the gene expression data presented in the current study is restricted to comparing responses between BFR and HST within the current protocol.

The similarities between gene expression responses to BFR and HST in VL, suggests similar activation of molecular pathways by the two modes of training, leaving behind similar transcriptional fingerprints. Indeed, this is supported by protein data from other studies, supporting roles for kinases such as mTORC1 (11, 22) and MAPK (19, 75) in responses to both training modalities. Interestingly, the close coherence between responses to BFR and HST should make the two training modes similarly vulnerable to confounding factors related to genetic, epigenetic, or nutritional traits, which are known to result in widespread interindividual variation in training responses (67). Indeed, in the present study, such a mutual reliance on genotypic and

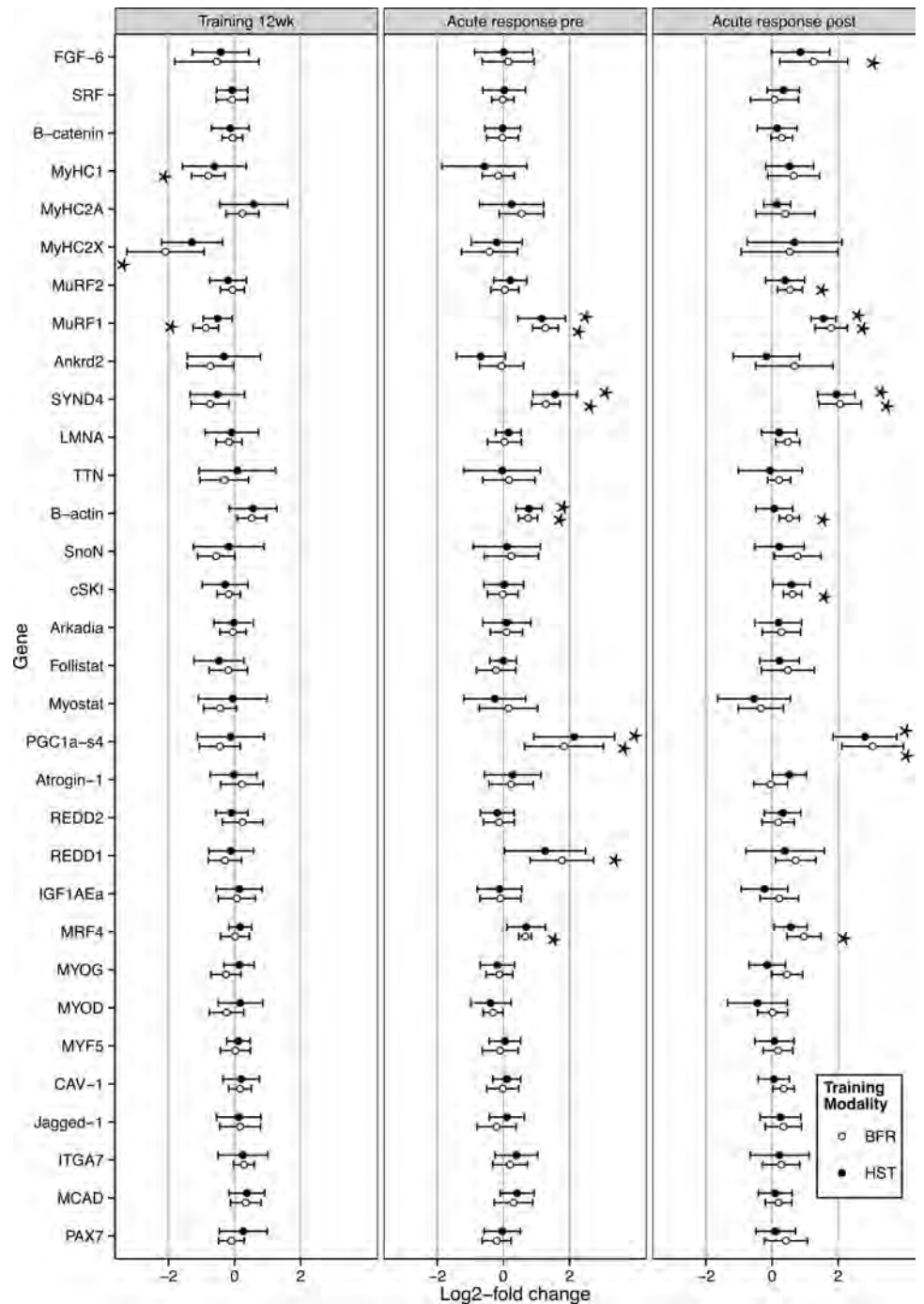


Fig. 10. Log<sub>2</sub>-fold changes in expression of 29 genes involved in muscle function and plasticity in musculus vastus lateralis of previously untrained women ( $n = 9$ ) following 12 wk of BFR (○) and HST (●) (left), and 1 h after acute bouts of BFR and HST at 0 wk (Pre, middle), and 12 wk (Post, right). Each individual performed each training protocol in a contralateral manner. Values are expressed as means  $\pm$  95% CI. \*Significant changes in expression caused by BFR or HST ( $P < 0.05$ ). No differences were found between HST and BFR.

phenotypic traits was evident through the close relationship between individual training adaptations to BFR and HST, exemplified by the very large correlation between changes in  $CSA_{peak}$  of QUAD, with between-subject variation being as high as 0% to 17%.

Of the 29 genes investigated in the present study, two observations deserve particular attention. First, this is the first study to show that SYND4 is an exercise-responsive gene, displaying robust increases in expression in response to both BFR and HST in human skeletal muscle. From previous studies, expression of SYND4 is known to be restricted to satellite cells (6), where it plays essential roles in controlling

muscle regeneration (7). It displays increased expression following induced muscle damage (5), likely acting to facilitate signaling through fibroblast growth factors/hepatocyte growth factors (7). Mice lacking functional SYND4 proteins exhibit severely impaired capabilities of skeletal muscle regeneration (7), and SYND4 seems important for directional migration of satellite cells in skeletal muscle (59). The increased SYND4 expression in response to BFR and HST was, thus, likely to be restricted to satellite cells, perhaps increasing their sensitivity to hypertrophic agents and improving their mobility, setting the stage for proliferation and formation of novel myonuclei.

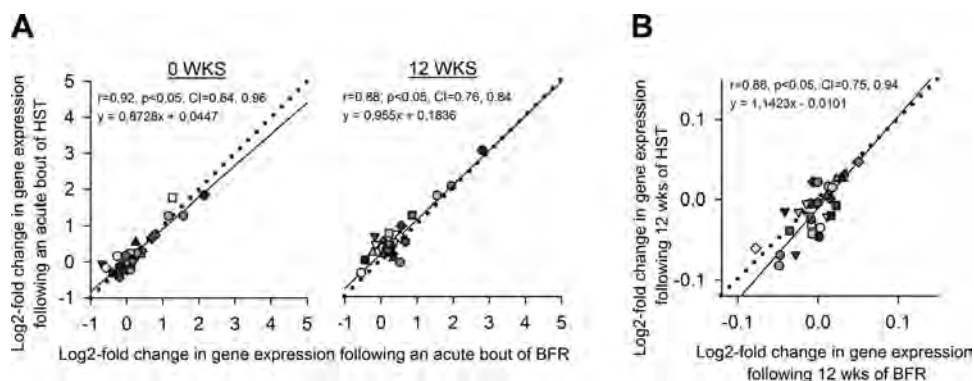


Fig. 11. Correlation between log<sub>2</sub>-fold changes in gene expression in musculus vastus lateralis following acute bouts of BFR and HST (A), or 12 wk of HST and BFR (assessed as rested-state expression) in previously untrained women ( $n = 9$ ) (B). Each individual performed each of the two training protocols in a contralateral manner, with sessions of HST and BFR being performed both before (*week 0*) and after (*week 12*) the strength training intervention, in each case on different days, separated by 4–6 days. One particular symbol represents the average GeNorm-normalized log<sub>2</sub>-fold change in expression of one particular gene ( $n = 32$  genes). CI denotes the 95% confidence interval of Pearson  $r$ . Straight lines illustrate trend lines, while dotted lines indicate the perfect 1:1 slope. For detailed information on the expression of singular genes, see Fig. 10.

Second, the training-induced 2X→2A shift in muscle fiber proportions was evident using both mRNA-based GeneFam and immunohistochemistry. In contrast, GeNorm-normalization of mRNA data were not able to disclose this hallmark trait of strength training. This supports the applicability of GeneFam for such analyses. Indeed, large to very large correlations were found between GeneFam-based and immunohistochemistry-based fiber type proportions ( $r = 0.54$  to  $0.74$ , data not shown), fitting well with findings in our recent proof-of-principle publication (17).

**The training intervention.** While BFR and HST protocols resulted in similar changes in functional and biological parameters in the present study, we cannot rule out the possibility that either of the protocols exerted contralateral effects; i.e., that training of one leg led to adaptations in the opposite leg through neurological or hormonal pathways (4). However, efforts were made to counteract such treatment interactions by including two features into the study flow: 1) subjects were set to perform familiarization sessions to both BFR and HST prior to testing and intervention upstart, and 2) subjects were not allowed to perform BFR and HST on the same day. The latter ensured complete washout of hormonal responses prior to the next session, which could have affected training outcomes (56). Indeed, in a study by Madarame et al. (36), supplementing light resistance training of one arm with BFR training of the legs markedly increased gains in arm muscle size. This effect was not evident in the untrained arm, suggesting that the interaction between the systemic responses elicited by BFR and light training of the arm required training of the arm to take place within the same training session.

Still, we cannot dismiss the possibility of treatment interactions. For example, previous studies have demonstrated that unilateral strength training protocols result in contralateral increases in muscle strength that may be related to neuronal adaptations (4). In the present data set, such neurological adaptations do not seem to have played a major role in the observed ergogenic effects, as there was a close correlation between increases in 1RM performance and increases in muscle CSA<sub>peak</sub> in both BFR and HST legs, suggesting a dominant role for increases in muscle mass in the strength gain.

Notably, in the current study, the BFR protocol was associated with higher training volumes than the HST protocol,

leaving open the possibility of overestimation of the BFR efficacy (measured per training volume). However, in our view this seems unlikely, as high and low volumes of BFR were recently shown to result in similar increases in muscle strength and mass (41). In essence, this means that lowering the BFR training volume to match the HST volume would not have affected relative efficacies. Importantly, our rationale behind the choice of protocols was not based on performing equal amounts of work with both thighs, but on comparing two quite typical and proven protocols for each type of exercise (46, 73, 74).

**Conclusion.** In the present study, we utilized a within-subject protocol to show that BFR and HST of knee extensors resulted in similar functional and biological adaptations in previously untrained women. Twelve weeks of BFR and HST was associated with similar increases in 1RM performance, similar increases in CSA of distal QUAD, similar muscle fiber transitions in the 2X→2A direction, and similar changes in gene expression. In contrast to our hypothesis, singular sessions of BFR and HST were associated with similar hormonal responses and similar changes in gene expression, with finding of no changes in myonuclei per muscle cell. Of particular interest, 1) responses to BFR and HST were greater in individuals with higher proportions of type 2 fibers, 2) SYND4 seems to be an exercise-inducible gene in skeletal muscle, and 3) muscle hypertrophy in proximal QUAD was impaired in the BFR leg, potentially being a passive effect of the presence of an inflated tourniquet during training.

#### Perspectives and Significance

The present intervention involved two sessions of BFR a week, representing a practical approach to BFR that can be implemented into any training and rehabilitation program. This may be of particular interest to individuals with limited tolerance to training with high loads, such as those suffering from rheumatoid diseases or similar. In the future, it will, thus, be important to explore the efficacy of BFR in other demographic groups, with particular focus on patient groups. This being said, it will also be interesting to explore the effects of BFR in athletes, e.g., investigating its effect on endurance perfor-

mance, wherein HST has come to play an important role (57, 58, 71).

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank the students Mads Hansen and Sindre Habberstad for assistance during intervention follow-up and data sampling.

S. Ellefsen, D. Hammarström, T. A. Strand, E. Zacharoff, J. E. Whist, I. Rauk, H. Nygaard, G. Vegge, M. Hanestadhaugen, and B. R. Rønnestad are members of The Lillehammer Research Center for Medicine and Exercise Physiology.

#### GRANTS

This study was supported by grant 150208 from the Innlandet Hospital Trust, Norway.

#### DISCLOSURES

No conflicts of interest, financial or otherwise, are declared by the authors.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

Author contributions: S.E., T.A.S., E.Z., J.E.W., M.H., R.R., T.R., and B.R.R. conception and design of research; S.E., D.H., E.Z., J.E.W., I.R., H.N., G.V., M.H., M.W., K.T.C., R.R., T.R., and B.R.R. performed experiments; S.E., D.H., E.Z., J.E.W., I.R., H.N., G.V., M.H., M.W., K.T.C., T.R., and B.R.R. analyzed data; S.E., D.H., T.A.S., E.Z., J.E.W., I.R., H.N., G.V., M.W., K.T.C., T.R., and B.R.R. interpreted results of experiments; S.E., D.H., T.R., and B.R.R. prepared figures; S.E. drafted manuscript; S.E., D.H., T.A.S., E.Z., J.E.W., I.R., H.N., G.V., M.H., M.W., K.T.C., R.R., T.R., and B.R.R. edited and revised manuscript; S.E., D.H., T.A.S., E.Z., J.E.W., I.R., H.N., G.V., M.H., M.W., K.T.C., R.R., T.R., and B.R.R. approved final version of manuscript.

#### REFERENCES

- Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, Dudley GA. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol* 74: 911–915, 1993.
- Andersen JL, Klitgaard H, Saltin B. Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta Physiol Scand* 151: 135–142, 1994.
- Blomstrand E, Ekblom B. The needle biopsy technique for fibre type determination in human skeletal muscle—a methodological study. *Acta Physiol Scand* 116: 437–442, 1982.
- Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, Lee M, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol* 101: 1514–1522, 2006.
- Casar JC, Cabello-Verrugio C, Olguin H, Aldunate R, Inestrosa NC, Brandan E. Heparan sulfate proteoglycans are increased during skeletal muscle regeneration: requirement of syndecan-3 for successful fiber formation. *J Cell Sci* 117: 73–84, 2004.
- Cornelison DDW, Filla MS, Stanley HM, Rapraeger AC, Olwin BB. Syndecan-3 and Syndecan-4 specifically mark skeletal muscle satellite cells and are implicated in satellite cell maintenance and muscle regeneration. *Dev Biol* 239: 79–94, 2001.
- Cornelison DDW, Wilcox-Adelman SA, Goetinck PF, Rauvala H, Rapraeger AC, Olwin BB. Essential and separable roles for Syndecan-3 and Syndecan-4 in skeletal muscle development and regeneration. *Genes Dev* 18: 2231–2236, 2004.
- Cumming KT, Paulsen G, Wernbom M, Ugelstad I, Raastad T. Acute response and subcellular movement of HSP27,  $\alpha$ B-crystallin and HSP70 in human skeletal muscle after blood-flow-restricted low-load resistance exercise. *Acta Physiol* 211: 634–646, 2014.
- D'Antona G, Pellegrino MA, Adami R, Rossi R, Carlizzi CN, Canevari M, Saltin B, Bottinelli R. The effect of ageing and immobilization on structure and function of human skeletal muscle fibres. *J Physiol* 552: 499–511, 2003.
- Daniel DM, Lumkang G, Stone ML, Pedowitz RA. Effects of tourniquet use in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Arthro Rel Surg* 11: 307–311, 1995.
- Drummond MJ, Fry CS, Glynn EL, Dreyer HC, Dhanani S, Timmerman KL, Volpi E, Rasmussen BB. Rapamycin administration in humans blocks the contraction-induced increase in skeletal muscle protein synthesis. *J Physiol* 587: 1535–1546, 2009.
- Drummond MJ, Fujita S, Takash A, Dreyer HC, Volpi E, Rasmussen BB. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 40: 691–698, 2008.
- Dytham C. *Choosing and Using Statistics: A Biologist's Guide*. New York: Wiley, 2011.
- Ellefsen S, Stenslokken KO, Sandvik GK, Kristensen TA, Nilsson GE. Improved normalization of real time RT-PCR data using an external RNA control. *Anal Biochem* 376: 83–93, 2008.
- Ellefsen S, Stenslokken KO. Gene-family profiling: a normalization-free real-time RT-PCR approach with increased physiological resolution. *Physiol Genomics* 42: 1–4, 2010.
- Ellefsen S, Vikmoen O, Slettalokken G, Whist JE, Nygaard H, Rauk I, Vegge G, Strand TA, Hollan I, Raastad T, Rønnestad BR. Irisin and FNDC5—effects of 12 wks strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women. *Eur J Appl Physiol* 114: 1875–1888, 2014.
- Ellefsen S, Vikmoen O, Zacharoff E, Rauk I, Slettalokken G, Strand TA, Whist JE, Hanestadhaugen M, Vegge G, Fagernes CE, Nygaard H, Hollan I, Rønnestad BR. Reliable determination of training-induced alterations in muscle fibre composition in human skeletal muscle using qPCR. *Scand J Med Sci Sports* 24: e332–e342, 2014.
- Fridén J, Pedowitz RA, Thornell LE. Sensitivity of different types of fibres in rabbit skeletal muscle to pneumatic compression by tourniquet and to ischaemia. *Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 28: 87–94, 1994.
- Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, Dhanani S, Volpi E, Rasmussen BB. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol* 108: 1199–1209, 2010.
- Fry CS, Noehren B, Mula J, Ubele MF, Westgate PM, Kern PA, Peterson CA. Fibre type-specific satellite cell response to aerobic training in sedentary adults. *J Physiol* 592: 2625–2635, 2014.
- Gnocchi VF, White RB, Ono Y, Ellis JA, Zammit PS. Further characterisation of the molecular signature of quiescent and activated mouse muscle satellite cells. *PLoS One* 4: e5205, 2009.
- Gundermann DM, Walker DK, Reidy PT, Borack MS, Dickinson JM, Volpi E, Rasmussen BB. Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 306: E1198–E1204, 2014.
- Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol* 28: 560–580, 1965.
- Hikida RS, Staron RS, Hagerman FC, Walsh S, Kaiser E, Shell S, Hervey S. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. II. Muscle fiber characteristics and nucleocytoplasmic relationships. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 55: B347–B354, 2000.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.
- Häkkinen K, Newton RU, Gordon SE, McCormick M, Volek JS, Nindl BC, Gotshalk LA, Campbell WW, Evans WJ, Häkkinen A, Humphries BJ, Kraemer WJ. Changes in muscle morphology, electromyographic activity, and force production characteristics during progressive strength training in young and older men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 53: B415–B423, 1998.
- Kacin A, Strazar K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. *Scand J Med Sci Sports* 21: e231–e241, 2011.
- Kadi F, Schjerling P, Andersen LL, Charifi N, Madsen JL, Christensen LR, Andersen JL. The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *J Physiol* 558: 1005–1012, 2004.
- Kadi F, Thornell LE. Concomitant increases in myonuclear and satellite cell content in female trapezius muscle following strength training. *Histochem Cell Biol* 113: 99–103, 2000.
- Kim E, Gregg LD, Kim D, Sherk VD, Bemben MG, Bemben DA. Hormone responses to an acute bout of low intensity blood flow-restricted resistance exercise in college-aged females. *J Sports Sci Med* 13: 91–96, 2014.
- Klitgaard H, Zhou M, Schiaffino S, Betto R, Salviati G, Saltin B. Ageing alters the myosin heavy chain composition of single fibres from human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 140: 55–62, 1990.
- Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 44: 2077–2083, 2012.

33. **Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves M, Aihara AY, Fernandes AdRC, Tricoli V.** Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc* 44: 406–412, 2012.
34. **Loenneke J, Wilson J, Marin P, Zourdos M, Bembem M.** Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol* 112: 1849–1859, 2012.
35. **Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bembem MG.** The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses* 78: 151–154.
36. **Madarame H, Neyra M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N.** Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc* 40: 258–263, 2008.
37. **Man WDC, Kemp P, Moxham J, Polkey MI.** Skeletal muscle dysfunction in COPD: clinical and laboratory observations. *Clin Sci* 117: 251–264, 2009.
38. **Manini TM, Clark BC.** Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 37: 78–85, 2009.
39. **Manini TM, Vincent KR, Leeuwenburgh CL, Lees HA, Kavazis AN, Borst SE, Clark BC.** Myogenic and proteolytic mRNA expression following blood flow restricted exercise. *Acta Physiol* 201: 255–263, 2011.
40. **Manini TM, Yarrow JF, Buford TW, Clark BC, Conover CF, Borst SE.** Growth hormone responses to acute resistance exercise with vascular restriction in young and old men. *Growth Horm IGF Res* 22: 167–172, 2012.
41. **Martín-Hernández J, Marin PJ, Menéndez H, Ferrero C, Loenneke JP, Herrero AJ.** Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training. *Scand J Med Sci Sports* 23: e114–e120, 2013.
42. **Mascher H, Tannerstedt J, Brink-Elfegoun T, Ekblom B, Gustafsson T, Blomstrand E.** Repeated resistance exercise training induces different changes in mRNA expression of MAFbx and MuRF-1 in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 294: E43–E51, 2008.
43. **Mogensen M, Sahlin K, Fernström M, Glinborg D, Vind BF, Beck-Nielsen H, Højlund K.** Mitochondrial respiration is decreased in skeletal muscle of patients with Type 2 diabetes. *Diabetes* 56: 1592–1599, 2007.
44. **Mohler LR, Pedowitz RA, Lopez MA, Gershuni DH.** Effects of tourniquet compression on neuromuscular function. *Clin Orthop Relat Res* 359: 213–220, 1999.
45. **Molsted S, Eidemak I, Sorensen HT, Kristensen JH, Harrison A, Andersen JL.** Myosin heavy-chain isoform distribution, fibre-type composition and fibre size in skeletal muscle of patients on haemodialysis. *Scand J Urol Nephrol* 41: 539–545, 2007.
46. **Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, Suetta C, Frandsen U.** Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol* 590: 4351–4361, 2012.
47. **Petrella JK, Kim Js, Mayhew DL, Cross JM, Bamman MM.** Potent myofiber hypertrophy during resistance training in humans is associated with satellite cell-mediated myonuclear addition: a cluster analysis. *J Appl Physiol* 104: 1736–1742, 2008.
48. **Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ.** Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res* 27: 2914–2926, 2013.
49. **Psilander N, Damsgaard R, Pilegaard H.** Resistance exercise alters MRF and IGF-I mRNA content in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 95: 1038–1044, 2003.
50. **R Development Core Team.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014 (<http://www.R-project.org/>).
51. **Ramakercs C, Ruijter JM, Deprez RH, Moorman AF.** Assumption-free analysis of quantitative real-time polymerase chain reaction (PCR) data. *Neurosci Lett* 339: 62–66, 2003.
52. **Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TE, Housh TJ, Ben Kibler W, Kraemer WJ, Triplett NT.** Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 687–708, 2009.
53. **Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Tracy BL, Metter EJ, Hurley BF, Rogers MA.** Skeletal muscle satellite cell characteristics in young and older men and women after heavy resistance strength training. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci* 56: B240–B247, 2001.
54. **Ruas Jorge L, White James P, Rao Rajesh R, Kleiner S, Brannan Kevin T, Harrison Brooke C, Greene Nicholas P, Wu J, Estall Jennifer L, Irving Brian A, Lanza Ian R, Rasbach Kyle A, Okutsu M, Nair KS, Yan Z, Leinwand Leslie A, Spiegelman BM.** A PGC-1 $\alpha$  isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell* 151: 1319–1331, 2012.
55. **Ruijter JM, Ramakers C, Hoogaars WMH, Karlen Y, Bakker O, van den Hoff MJB, Moorman AFM.** Amplification efficiency: linking baseline and bias in the analysis of quantitative PCR data. *Nucleic Acids Res* 37: 12, 2009.
56. **Rønnestad B, Nygaard H, Raastad T.** Physiological elevation of endogenous hormones results in superior strength training adaptation. *Eur J Appl Physiol* 111: 2249–2259, 2011.
57. **Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T.** Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 21: 250–259, 2011.
58. **Rønnestad BR, Hansen J, Hollan I, Ellefsen S.** Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 25: e89–e98, 2014.
59. **Shin J, McFarland D, Velleman S.** Migration of turkey muscle satellite cells is enhanced by the syndecan-4 cytoplasmic domain through the activation of RhoA. *Mol Cell Biochem* 375: 115–130, 2013.
60. **Smerdu V, Eržen I.** Dynamic nature of fibre-type specific expression of myosin heavy chain transcripts in 14 different human skeletal muscles. *J Muscle Res Cell Motil* 22: 647–655, 2001.
61. **Smerdu V, Soukup T.** Demonstration of myosin heavy chain isoforms in rat and humans: the specificity of seven available monoclonal antibodies used in immunohistochemical and immunoblotting methods. *Eur J Histochem* 52: 179–190, 2008.
62. **Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS.** Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76: 1247–1255, 1994.
63. **Sullivan MJ, Green HJ, Cobb FR.** Skeletal muscle biochemistry and histology in ambulatory patients with long-term heart failure. *Circulation* 81: 518–527, 1990.
64. **Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N.** Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol* 88: 61–65, 2000.
65. **Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N.** Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88: 2097–2106, 2000.
66. **Timmons JA.** Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *J Appl Physiol* 110: 846–853, 2011.
67. **Untergasser A, Nijveen H, Rao X, Bisseling T, Geurts R, Leunissen JAM.** Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3. *Nucleic Acids Res* 35: W71–W74, 2007.
68. **Vandesompele J, De Preter K, Pattyn F, Poppe B, Van Roy N, De Paepe A, Speleman F.** Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome Biol* 3: RESEARCH0034, 2002.
69. **Vegge G, Rønnestad B, Ellefsen S.** Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. *J Int Soc Sports Nutr* 9: 14, 2012.
70. **Vikmoen O, Ellefsen S, Trøen Ø, Hollan I, Hanestadhaugen M, Raastad T, Rønnestad BR.** Strength training improves cycling performance, fractional utilization of  $\dot{V}O_{2\max}$  and cycling economy in female cyclists. *Scand J Med Sci Sports* In press.
71. **Wernbom M, Apro W, Paulsen G, Nilsen TS, Blomstrand E, Raastad T.** Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction increased protein signalling and number of satellite cells in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 113: 2953–2965, 2013.
72. **Wernbom M, Augustsson J, Raastad T.** Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports* 18: 401–416, 2008.
73. **Wernbom M, Augustsson J, Thomeé R.** The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med* 37: 225–264, 2007.
74. **Williamson D, Gallagher P, Harber M, Hollon C, Trappe S.** Mitogen-activated protein kinase (MAPK) pathway activation: effects of age and acute exercise on human skeletal muscle. *J Physiol* 547: 977–987, 2003.

## Artikkel 1

### Formelle opplysninger

Vegge, Geir; Rønnestad, Bent Ronny; Ellefsen Stian. Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level. Journal of the International Society of Sports Nutrition 2012; Volum 9 (14), 10 s. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnhold

I artikkelen ble det undersøkt om næringsinnholdet man inntar under et standardisert langvarig utholdenhetsarbeid på sykkel påvirker idrettslig prestasjonsevne under en umiddelbart etterfølgende 5- minutters «all- out- test». Undersøkelsen var en akutt- studie der 12 syklister deltok. Det ble for hver forsøksperson gjennomført tilvenningstester samt samlet inn data på tre randomiserte testdager, en dag for hver type næringsinnhold som ble inntatt. Idrettslig prestasjonsevne ble målt som evne til watt- produksjon. I studien ble det også gjort målinger av arbeidsøkonomi og evne til å ta opp oksygen, samt av flere typer blodverdier. Studiens hovedfunn var at det for utøverne samlet ikke ble funnet forskjeller i idrettslig prestasjonsevne mellom de tre næringsinntakene. For personer med de laveste prestasjonsnivåene ble det imidlertid funnet en bedret prestasjonsevne på dager med inntak av en drikk bestående av hydrolisert marint protein blandet med protein og karbohydrat sammenliknet med dagene der det ble inntatt en drikk bestående av enten kun karbohydrater eller en blanding av karbohydrater og protein.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Gjennomføre mye av datainnsamlingen, med betydelige bidrag også fra andre personer
- Plotte og analysere data
- Tolke dataene og utarbeide manuskriptet i samarbeid med de to medforfatterne
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av oksygenopptak ved standardiserte submaksimale belastninger, målinger av VO<sub>2</sub>-maks, blodprøvetaking ved fingerstikk (både laktat og glukose, samt flere andre blodverdier gjennom bruk av apparaturen I-stat), samt målinger av hjerterefrekvens.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen "Improved cycling performance with ingestion of hydrolyzed marine protein depends on performance level" er korrekte.*

*Underskrift av artikkelens siste- forfatter:*

Sted

Lillehammer

Dato

9/12-15

  
Stian Ellefsen (prof.)

## Artikkel 2

### Formelle opplysninger

Hansen, Ernst A.; Rønnestad, Bent Ronny; Vegge, Geir; Raastad, Truls. Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training. International Journal of Sports Physiology and Performance 2012; Volum 7 (4) s.313-321. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1-tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen undersøkes det om kraftutviklingen i ulike faser av sykkeltråkket påvirkes av en intervensjonsperiode med tung styrketrening for bena. Undersøkelsen innebar testing av en 18 syklist før og etter en 12- ukers intervensjonsperiode. I intervensjonsperioden var syklister delt i to grupper hvorav den ene halvparten bare trente utholdenhet (primært sykling) og den andre trente både utholdenhet (primært sykling) og styrketrening. Kraftutviklingen i tråkket ble målt ved bruk av en avansert ergometersykel (Lode Excalibur Sport) som registrerte dreiemomentet (torque) som ble utviklet i hver fase av sykkeltråkket. I løpet av hver omdreiningssyklus (360 grader) var sykkelen forhåndsprogrammert til å gjøre 180 registreringer, en for hver 2. grad. Studiens hovedfunn var at syklister som trente styrke i løpet av 12- ukers- perioden reduserte den andelen av omdreiningssyklusene der det ble utviklet et negativt dreiemoment mellom fot og pedal med 14 %, noe som var en større reduksjon enn kontrollgruppa hadde ( $p=0.002$ ). I løpet av 12- ukers perioden hadde styrketreningsgruppa også en høyere prestasjonsutvikling på en 5- minutters all- out- test som etterfulgte et standardisert langvarig sykkelarbeid ( $p=0.02$ ).

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i noe av datainnsamlingen, dog bare mindre bidrag
- Systematisere og analysere alle data for kraftutviklingen mellom fot og pedal (stor datamengde som følge av 180 kraftregistreringer pr ben pr tråkksyklus kombinert med lang testvarighet og mange forsøkspersoner)
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for- dog kun for et fåtall av forsøkspersonene

Målinger av  $VO_{2maks}$ , hjertefrekvens og blodprøvetaking ved fingerstikk (laktat).

Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen "Cyclists' improvement of pedaling efficacy and performance after heavy strength training" er korrekte.

Underskrift av en av artikkelens med- forfattere:

Sted

  
\_\_\_\_\_

Dato

  
\_\_\_\_\_



Bent R. Rønnestad (1.am.)



### Artikkel 3

#### Formelle opplysninger

Ellefsen, Stian; Vikmoen, Olav; Zacharoff, Erika; Rauk, Irene; Slettaløkken, Gunnar; Hammarström, Daniel; Strand, Tor A; Whist, Jon Elling; Hanestadhaugen, Marita; Vegge, Geir; Fagernes, Cathrine Elisabeth; Nygård, Håvard; Hollan, Ivana; Rønnestad, Bent Ronny. Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 2014; Volum 24 (4) s.332-342. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2- tidsskrift.

#### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen utprøves en ny metode for å måle endringer i muskelfibertypefordeling som følge av trening. I undersøkelsen ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis og M. biceps brachii på 16 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Studiens hovedfunn var at muskelfibertypebestemmelse med den veletablerte metoden immunhistokjemi korrelerte godt med funnene ved den nye metoden som undersøkte mRNA- uttrykket til myosin tung- kjeder ( $r = 0.50, 0.74$  og  $0.78$  for henholdsvis myosin tung- kjede 1, IIA og IIX).

#### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk *revisjon av artikkelens intellektuelle innhold*
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

#### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuum med vakuum- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen "Reliable determination of training-induced alterations in muscle fiber composition in human skeletal muscle using quantitative polymerase chain reaction" er korrekte.*

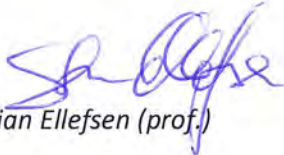
Underskrift av artikkelens første- forfatter:

Sted

L. Vikmoen

Dato

9/12-15

  
Stian Ellefsen (prof.)

## Artikkel 4

### Formelle opplysninger

Ellefsen, Stian; Vikmoen, Olav; Slettaløkken, Gunnar; Whist, Jon Elling; Nygård, Håvard; Hollan, Ivana; Rauk, Irene; Vegge, Geir; Strand, Tor A; Raastad, Truls; Rønnestad, Bent. Irisin and FNDC5: effects of 12-week strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women. European Journal of Applied Physiology 2014; Volum 114 (9) s. 1875-1888. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen brukes den analysemetoden av muskelvev som ble utprøvd i artikkel 3, samt metoden immunhistokjemi. I undersøkelsen ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis og M. biceps brachii på 18 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Studiens hovedfunn var at trening ikke påvirket muskelens uttrykk av FNDC5 eller blodets konsentrasjon av irisin.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuüm med vakuüm- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen «Irisin and FNDC5 - effects of 12 wks strength training, and relations to muscle phenotype and body mass composition in untrained women» er korrekte.*

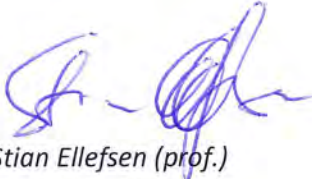
Underskrift av artikkelens første- forfatter:

Sted

Lillehammer

Dato

9/12-15

  
Stian Ellefsen (prof.)

## Artikkel 5

### Formelle opplysninger

Rønnestad, Bent Ronny; Hansen, Joar; Vegge, Geir; Tønnessen, Espen; Slettaløkken, Gunnar.  
Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports 2015; Volum 25 (2) s.143-151. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble det undersøkt om idrettslig prestasjonsevne ble påvirket av om intervalltrening i løpet av en 10- ukers- periode ble utført som kortintervall (30 sekunders innsatsperioder) eller langintervall (4 minutters innsatsperioder). I studien ble det kontrollert for at begge grupper trente like lenge i hver intensitetssone (3- delt inndeling av intensitetssoner). Undersøkelsen innebar testing av 16 utøvere både før og etter treningsperioden. Idrettslig prestasjonsevne ble målt som evne til watt-produksjon og som evne til å ta opp oksygen. Studiens hovedfunn var at syklister som trente kortintervall fikk en høyere økning i  $VO_{2max}$  fra pre- til post- test enn de som trente langintervall (henholdsvis 8.7 % vs 2.6 %,  $p \leq 0.05$ ), samt at de fikk en høyere økning for både  $W_{max}$  og prestasjon på en 40 minutters all- out- test ( $p \leq 0.05$ ).

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk revisjon av artikkelens intellektuelle innhold
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for

Målinger av  $VO_2$  ved submaksimale og maksimale belastninger, samt målinger av hjerterefrekvens.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen "Short intervals induces superior training adaptations compared to long intervals in cyclists – An effort-matched approach" er korrekte.*

Underskrift av artikkelens første- forfatter:

Sted

  
\_\_\_\_\_

Dato

9/12.2015  
\_\_\_\_\_

  
Bent R. Rønnestad (1.am.)

## Artikkel 6

### Formelle opplysninger

Nygård, Håvard; Slettaløkken, Gunnar; Vegge, Geir; Hollan, Ivana; Whist, Jon Elling; Strand, Tor; Rønnestad, Bent; Ellefsen, Stian. Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training. PLoS ONE 2015; Volum 10 (3), 12 s. I publiseringåret var tidsskriftet et nivå 1- tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble det undersøkt hvordan hormonet irisin påvirkes av fysisk aktivitet. I undersøkelsen deltok 9 moderat trente forsøkspersoner som det ble tatt blod- og muskelvevsprøver fra. For hver av dem ble det samlet inn data på tre ulike dager. Den ene dagen hadde forsøkspersonene vært så inaktive som praktisk mulig, en annen dag hadde de gjennomført en hard styrketreningsøkt og en tredje dag hadde de gjennomført en hard utholdenhetstreningsøkt. Målingene ble gjort på standardiserte tidspunkt. Muskelvev ble samlet inn fra M. vastus lateralis ved bruk av mikrobiopsimetode. Hovedfunn: Både styrketreningsøkter og utholdenhetstreningsøkter førte til kortvarige økninger av irisinkonsentrasjon i blod. Personer med lav fettprosent hadde en lavere irisinrespons etter styrketrening, men ikke etter utholdenhetstrening, sammenliknet med personer med høyere fettprosent. For FNDC5, ved beregninger med analysemetoden som ble uttestet i artikkel 3, ble det ikke funnet noen effekt av verken styrketrening eller utholdenhetstrening.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk *revisjon av artikkelens intellektuelle innhold*
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvar for

Å ta mikrobiopsier fra muskel ved bruk av mikrobiopsisystemet Bard Magnum, Reusable Core med nåler à størrelse 14 gauge samt for en del tilfeller bistå en annen biopsør ved prøvetakingene (med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.).

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen «Irisin in Blood Increases Transiently after Single Sessions of Intense Endurance Exercise and Heavy Strength Training» er korrekte.*

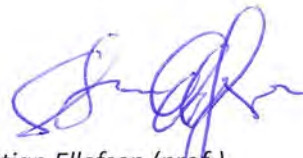
Underskrift av artikkelens siste- forfatter:

Sted

Lillehammer

Dato

9/12 - 15

  
Stian Ellefsen (prof.)

## Artikkel 7

### Formelle opplysninger

Ellefsen S, Hammarström D, Strand TA, Zacharoff E, Whist JE, Rauk I, Nygaard H, Vegge G, Hanestadhaugen M, Wernbom M, Cumming KT, Rønning R, Raastad T and Rønnestad BR. Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training. American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology; Volum 309 (7), s.767-779. I publiseringsåret var tidsskriftet et nivå 2-tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen brukes den analysemetoden av muskelvev som ble utprøvd i artikkel 3, samt metoden immunhistokjemi. I studien ble det tatt muskelbiopsier med Bergström- metoden fra M. vastus lateralis (begge ben) på 15 tidligere utrente unge kvinner før og etter en 12- ukers styrketreningsperiode. Det ble også både før og etter intervensjonen tatt blodprøver for hormonanalyser og foretatt beregninger av muskeltvernsnittet til Quadriceps- muskulaturen ved bruk av MR. I hele 12- ukers- perioden trente kvinnene tradisjonell tung styrketrening for det ene benet mens de for det andre benet trente okklusjons- styrketrening. Okklusjons- styrketreningen ble utført ved at det rundt benet/ arbeidende muskulatur ble påsatt en trykkmansjett som reduserte den venøse tilbakestrømningen av blodet i muskelen og som medførte at treningen ble utført med atskillig lavere ytre belastning sammenliknet med tradisjonell tung styrketrening. Etter 12 ukers trening var både framgangen i maksimal styrke og økningen i muskeltvernsnitt til Quadriceps- muskulaturen tilnærmet lik for begge ben.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Bidra med kritisk *revisjon av artikkelens intellektuelle innhold*
- Godkjenne den publiserte artikkelversjonen

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde medansvar for

Assistere ved prøvetakingene av muskelbiopsiene: lage vakuum med vakuum- pumpe under prøvetakingene med Bergström- metoden, samt håndtere sterilt utstyr og bistå biopsør med bl.a. å sette på strips, bandasjer etc.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen "Blood flow-restricted strength training displays high functional and biological efficacy in women: a within-subject comparison with high-load strength training" er korrekte.*

Underskrift av artikkelens første- forfatter:

Sted

Lillehammer

Dato

9/12-15

  
Stian Ellefsen (prof.)

## Artikkelutkast 1

### Formelle opplysninger

Mujika I, Vegge G, Hansen J og Rønnestad BR. Short- term performance peaking in an elite cross-country mountain biker, 18 sider. Artikkelutkastet er vår versjon etter at det har vært gjennom prosessen "minor revision" i tidsskriftet Journal of Sports Sciences. I 2015 er tidsskriftet et nivå 1-tidsskrift.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen ble effektene av en kortere formtoppingsperiode enn det som tradisjonelt brukes i sykling undersøkt. Artikkelen var en case- study av en mannlig toppsyklist og inneholder resultater fra både prestasjonsmålinger og fysiologiske målinger. I studien inngikk også en kontrollperson. Undersøkelsens hovedfunn var at en kort formtoppingsperiode (7 dager med økt treningsbelastning som inneholdt daglig høyintensitetstrening etterfulgt av 5 dager med lav treningsbelastning) førte til en vellykket formtopping og en vellykket konkurranseprestasjon. Også resultatene fra prestasjonstestene underveis i formtoppingsperioden samt resultatene fra de fysiologiske testene som ble foretatt peker i retning av et vellykket formtoppingsopplegg. Dagen etter avslutningen av 7-dagers- perioden med økt treningsbelastning var den gjennomsnittlige EMG- aktiviteten for M. vastus medialis og M. vastus lateralis redusert med henholdsvis 3 og 7 %. Andre baseline- verdier var også redusert med 3- 7 %. På dag 4 etter 7- dagers- perioden oppga utøveren at bena kjentes gode og alle målinger var 3- 7 % høyere enn de var før 7- dagers- perioden. På dag 6 etter 7- dagers- perioden (dvs. konkurransedagen) oppga utøveren at bena følte veldig gode og utøveren oppnådde sesongens klareste seier i norgescupen.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Delta i hele datainnsamlingen, i samarbeid med flere andre
- Plotte og analysere data, samt utarbeide figurer
- Bidra med kritisk *revisjon av artikkelens intellektuelle innhold*
- Godkjenne den *publiserte artikkelversjonen*

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av muskelaktivitet ved bruk av Telemetry DTS wireless system fra Noraxon samt bidra under målinger av oksygenopptak ved standardiserte submaksimale belastninger og målinger av VO<sub>2</sub>.maks.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen «Short- term performance peaking in an elite cross- country mountain biker» er korrekte.*

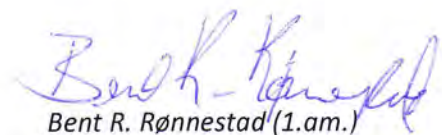
*Underskrift av artikkelens siste- forfatter:*

Sted

Lillehammer

Dato

9/12-2015

  
Bent R. Rønnestad (1.am.)

## Artikkelutkast 2

### Formelle opplysninger

Vegge Geir, Paulsen Gøran, Rønnestad Bent Ronny. Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading, 20 sider. Artikkelutkastet er planlagt innsendt til et internasjonalt fagfelleverdert tidsskrift i løpet av kort tid.

### Beskrivelse av hovedinnholdet

I artikkelen «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» undersøkes akutte effekter av vibrasjon i øvelsen kneekstensjon. I studien deltok 17 utrente kvinner som hver gjennomførte to tilvenningsøkter i tillegg til testingen som ble utført på de to testdagene. Innholdet i hver av testdagene var like bortsett fra at målingene den ene dagen ble utført med vibrasjonspåvirkning (31 Hz) og den andre dagen ble utført slik påvirkning. På begge testdagene ble muskelaktiviteten målt med EMG- elektroder festet på M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. rectus femoris og M. biceps femoris. Studiens hovedfunn: Det var en tendens til økning i 1RM- prestasjon på dagen med vibrasjonspåvirkning ( $p=0.063$ ) og vibrasjonen medførte en klar økning i EMG- signalenes størrelse (for alle målte muskler;  $p<0.001$ ). Et sentralt funn var også at det ikke ble funnet noen sammenheng mellom vibrasjonsinduserte endringer i EMG for løft med tunge og lette vekter.

### Min egen rolle

- Å utforme studien sammen med øvrige forfattere
- Lede og gjennomføre datainnsamlingen. I datainnsamlingen bidro også studenter på 3. år bachelor idrett, som brukte deler av datasettet i sine bachelorppgaver.
- Plotte og analysere data
- Tolke dataene og utarbeide manuskriptet. Medforfatterne har gitt tilbakemeldinger på manuskriptet, som snart er klart for å bli submittet

### Idrettsfysiologiske datainnsamlingsmetoder jeg hadde ansvaret for

Målinger av muskelaktivitet, akselerasjon og leddvinkler ved bruk av Telemetry DTS wireless system fra Noraxon samt gjennomføre 1RM- tester.

*Jeg bekrefter med dette at de opplysningene Geir Vegge har gitt om sitt bidrag med artikkelen «Acute effects of vibration on one repetition maximum and muscle activation during high and low loading» er korrekte.*

*Underskrift av artikkelens siste- forfatter:*

Sted

Lillehammer

Dato

9/12-2015

Bent R. Rønnestad  
Bent R. Rønnestad (1.am.)

På konferansen 15 th ECSS Congress 23-26 June 2010 Antalya/ Turkey presenterte jeg en poster på formiddagen 26.juni.

Her er mitt innsendte abstract som lå til grunn for presentasjonen samt posteren jeg presenterte:

### **Ingestion of hydrolysed protein improves all-out performance after prolonged submaximal cycling**

Vegge G., Rønnestad B. R., and Ellefsen S.

Lillehammer University College, Lillehammer, Norway

*Background.* In contrast to beverages containing non-degraded protein ( $_{\text{nonPro}}$ ) and carbohydrate (CHO) (1), beverages containing hydrolysed protein ( $_{\text{hydPro}}$ ) and CHO seem to have a positive effect on prolonged cycling performance (2). The aim of this study was to examine the effects of supplementing  $_{\text{hydPro}}$  to a beverage containing  $_{\text{nonPro}}$  and CHO on 125 minutes cycling at 50 % of maximal aerobic power ( $W_{\text{max}}$ ), followed by a 5- min all-out performance test. *Method.* Sixteen trained men ( $VO_{2 \text{ max}} = 63 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), all using cycling as part of their weekly training, participated in a randomized double-blinded cross-over design. During the standardized 125 minutes of steady-state cycling, 1.8 dl beverage was ingested every 15 minutes. For beverage 1, this lead to ingestion of  $58 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  CHO and  $9.1 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$   $_{\text{nonPro}}$ , and for beverage 2 it lead to consumption of  $58 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  CHO,  $7.5 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$   $_{\text{nonPro}}$  and  $1.6 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$   $_{\text{hydPro}}$ . *Results.* We show that intake of the beverage containing  $_{\text{hydPro}}$  resulted in 4 % increase in the power output produced during the 5-min all-out test, going from  $367 \pm 14 \text{ W}$  to  $382 \pm 13 \text{ W}$  ( $p < 0.05$ ). A complete dataset will be presented at the ECSS conference.

#### REFERENCES

1. Breen et al. Med Sci Sports Exerc 2009, Des 9 [epub ahead of print]
2. Saunders et al. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2009, 19 (4): 335- 337



# Ingestion of hydrolysed protein improves all-out performance after prolonged submaximal cycling

Vegge G., Rønnestad B. R., and Ellefsen S.

Lillehammer University College, Lillehammer, Norway

email: geir.vegge@hil.no

## Introduction

Supplementation of unprocessed protein to a beverage containing carbohydrate seem to have no effect on prolonged cycling performance (1). However additional effect has been observed with supplementation of hydrolysed protein (2).

## Objective

The aim of this study was to examine the effects of supplementing hydrolysed protein to a beverage containing unprocessed protein and carbohydrate on a 5- min all-out performance test following 125 minutes cycling at 50 % of maximal aerobic power (Wmax).

## Methods

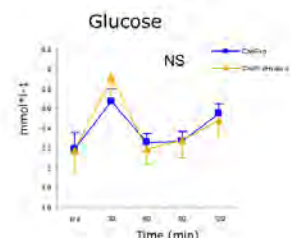
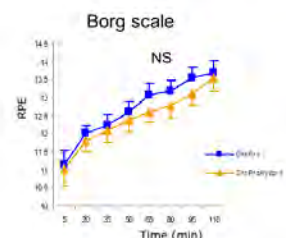
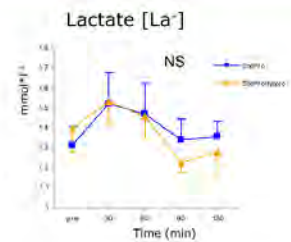
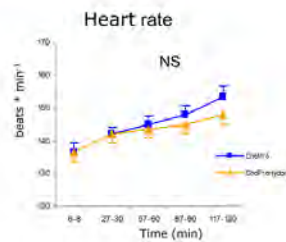
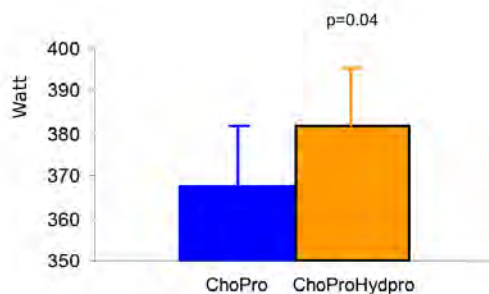


Sixteen trained men ( $\text{VO}_2 \text{ max} = 63 \pm 1.52 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), all using cycling as part of their weekly training, participated in a randomized double-blinded cross-over design. During the standardized 125 minutes of steady-state cycling, 1.8 dl beverage was ingested every 15 minutes. For one beverage this lead to ingestion of  $58 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  carbohydrate and  $9.1 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  unprocessed protein (ChoPro), and for the other beverage it lead to consumption of  $58 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  carbohydrate,  $7.5 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  unprocessed protein and  $1.6 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$  hydrolysed protein (ChoProHydro).



## Results

Intake of the beverage containing Hydpro resulted in 4 % increase in the power output produced during the 5-min all-out test, going from  $367 \pm 14 \text{ W}$  to  $382 \pm 13 \text{ W}$ . No differences were observed for heart rate, rate of perceived exhaustion (Borg scale), blood lactate or blood glucose during the 125 minutes of steady state cycling.



## Conclusions and Take-Home Message

Intake of beverage containing Hydpro seem to be beneficial for all-out-performance following 125 minutes of steady state cycling compared to beverage where non of the protein components are hydrolysed. However it does not significantly affect parameters such as heart rate, rate of perceived exhaustion (RPE), blood lactate or blood glucose during the prolonged submaximal cycling.

## REFERENCES

- Breen et al. Med Sci Sports Exerc. 2010 Jun;42(6):1140-8.
- Saunders et al. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2009, 19 (4): 335- 337.

Acknowledgements: Beverages: Nutrinarine Life Science as; Hydpro: Nutripeptin

Utdrag av programmet for

9.th International Conference on Strength Training (ICST), 2014, Abano Terme, Italia.

Min presentasjon var på ettermiddagen 23. oktober. Nedenfor vises programoversikten for ettermiddagen.

### **16.30 Abstract based oral presentations**

Session openers:

**Walker et al (Finland)**

Neuromuscular adaptations to traditional versus eccentric-overload resistance training

**Nilsen et al (Norway)**

Strength training improves muscle cellular outcomes in men during androgen deprivation therapy for prostate cancer: a randomized controlled trial

**Vegge et al (Norway)**

Acute effects of vibration on muscle activation during high and low loading

Her er mitt innsendte abstract som lå til grunn for presentasjonen:

#### **ACUTE EFFECTS OF VIBRATION ON MUSCLE ACTIVATION DURING HIGH AND LOW LOADING**

Vegge G<sup>1</sup>, Paulsen G<sup>2</sup>, and Rønnestad BR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lillehammer University College, Norway; <sup>2</sup>Norwegian School of Sports Sciences

Some investigators have suggested that the vibration frequency that elicits the highest EMG increase at low loads should dictate the vibration frequency for training at higher loads (1,2,3,4,5). However, to the best of our knowledge the correlation between EMG responses at low and high loads have not been investigated and will thus be the aim of the present study.

17 healthy untrained women (mean  $\pm$  SD: age  $21 \pm 2$  yrs, height  $169 \pm 7$  cm, body mass  $62 \pm 9$  kg) were randomly exposed to two trails of vibration with a frequency of 31 Hz and two trails of no vibration in the sitting knee extension exercise. At 1RM loads the EMG<sub>peak</sub> values with vibration were higher compared to no vibration condition ( $50 \pm 32\%$ ,  $32 \pm 27\%$ ,  $24 \pm 23\%$ ,  $27 \pm 22\%$ , for the VM, VL, RF and BF muscles, respectively, all  $p < 0.001$ ). For all muscles the vibration induced EMG<sub>peak</sub> increase was higher for 1RM loads than low loads (all  $p < 0.05$ ) and no correlation was found between vibration induced EMG<sub>peak</sub> increases at 1RM loads and low loads ( $r$  values ranged from -0.19 to 0.06).

The present results suggest that vibration induced EMG increase at low loads cannot predict the vibration induced EMG increase at maximal loads. Therefore, if the purpose is to identify a vibration stimulus that increases EMG to the highest degree at maximal loads, such loads should be used during the identifying process.

## **References**

1. Cardinale et al., JSCR, 2003; 17: 621-624
2. Hazell et al., APNM, 2007; 32: 1156-1163
3. Krol et al., JSSM, 2011; 10: 169-174
4. Pollock et al., CB, 2010; 25: 840-846
5. Roelants et al., JSCR 2006; 20: 124-129

## **Contact**

geir.vegge@hil.no





Høgskolen i Lillehammer / Lillehammer University College  
Postboks/P. O. Box 952, 2604 Lillehammer, Norway  
Telefon/phone: (+47) 61 28 80 00

**[www.hil.no](http://www.hil.no)**