Høgskolen i Innlandet

Fakultet for helse- og sosialvitenskap

Simen Næss Berge

Masteroppgave

Fører fem uker med varmetrening til økt hemoglobinmasse og forbedret utholdenhetsprestasjon i normaltemperatur hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister?

Does five weeks of heat training increase haemoglobin mass and improve endurance performance in cool conditions in well-trained male and female cyclists?

Master i treningsfysiologi

2021

Forord

Jeg vil rette en stor takk til Bent Ronny Rønnestad for alt ansvaret jeg fikk i forbindelse med planleggingen og gjennomføringen av studien hans. Jeg vil også takke min veileder Carsten Lundby for gode tilbakemeldinger og deling av sin faglige kompetanse under skriveprosessen.

I tillegg må Joar Hansen takkes for å ha gitt meget god opplæring i hemoglobinmasse-målinger, og for alle dagene vi har hatt sammen i labben, hvor vi har «nerdet» og fått erfare viktigheten av nøyaktighet, presisjon og standardisering i alle steg av prosjektet.

Jeg vil også takke med-masterstudent Hege Bjørndal for godt samarbeid ved planlegging og gjennomføring av studien. Takk også til alle bachelor-studentene som bidro til å gjennomføre fysiske tester og plotte data: Eirik Noreide Berg, Bosajo Vegard Berger-Eid, Fredrik Bøe, Marte Emilsen, Mikael Ervik, Håvard Lorentzen, Sigrunn Mehl, Haakon Juvkam Pettersen, Vilde Nøbben Presthegge, Kristoffer Solum, Vetle Sælen og Thea Christine Røst Thorsrud.

Denne masteroppgaven markerer slutten på fem gode og kunnskapsgivende år ved Høgskolen i Innlandet. Jeg vil takke flere kull med medstudenter og de ansatte ved seksjon for helse- og treningsfysiologi for at dere bidratt til å gjøre studiehverdagen så bra som den har vært.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til alle forsøkspersonene som stilte opp i studien. Uten dere hadde det ikke vært mulig å gjennomføre dette prosjektet.

Simen Næss Berge
Lillehammer, mai 2021

Innhold

Forord 2

Innhold 3

Sammendrag 5

1 Teori 6

1.1 Maksimalt oksygenopptak 6

1.1.1 Diffusjonskapasitet 6

1.1.2 Minuttvolum 7

1.1.3 Blodets oksygenbærende kapasitet 8

1.1.4 Arterievenøs O_2-differanse og skjelettmuskulaturens ekstraksjonskapasitet 10

1.2 Utnyttingsgrad 10

1.3 Arbeidsøkonomi 12

1.4 Varmetrening 12

1.5 Målsetting, problemstilling og hypotese 14

3 Metode 17

3.1 Etisk godkjenning og samtykke 17

3.2 Forsøkspersonene 17

3.3 Eksperimentelt design 18

3.4 Selvrapportert trening 20

3.5 Varmetreningsøktene 21

3.6 Tester 23

3.7 Langtidstest av utholdenhetsvariabler 23

3.8 40 minutter all-out sykling 25

3.9 hb_{masse}-test og måling av blodvariabler 26

3.10 Statistikk 26

4 Resultater 28

4.1 Pretest 28

4.2 Hematologiske resultater 28

4.3 VO_{2maks}-, Wmaks- & 10 sekunders-sprint-resultater 29

4.4 Effekt og utnyttingsgrad ved 4 mmol·L^{-1} [la^{-}] 30

4.5 [la-] og arbeidsøkonomi på tredje og nest siste belastning av laktatprofilen 31

4.6 15 min all-out-resultater 32

4.7 40 min all-out-resultater 32

5 Diskusjon 34

5.1 hbmasse og blodvariabler 34

5.2 $VO2_{maks}$, W_{max} og 10-sekunder sprint 35

5.3 Utnyttingsgrad 36

5.4 Arbeidsøkonomi 37

5.5 Effekt ved 4 mmol·L^{-1} [la^{-}], 15-minutter all-out og 40-minutter all-out 37

5.6 Praktiske vurderinger 37

5.7 Konklusjon 38

5.8 Perspektiver 38

Referanseliste 39

Vedlegg 50

Vedlegg 1: Informasjonsskriv med samtykkeskjema 50

Vedlegg 2: Treningsdagbok 55

Vedlegg 3: Skjema for registrering av varmeøkter 56

Sammendrag

Formål: I denne studien testet vi hypotesen at fem ukentlige lavintensitet varmetreningsøkter à 50 minutter med varmedrakt, fører til forbedringer i hemoglobinmasse og utholdenhetsprestasjon i normaltemperatur, hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister.

Metode: 47 mannlige og kvinnelige (menn = 27, kvinner = 20) syklister (snitt maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}) ved pretest = 68,7 ± 11,7 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) deltok i studien. Forsøkspersonene ble delt inn i varme- (n = 25) og kontrollgruppe (n = 27). Det ble gjennomført 25 lavintensitetsøkter med varmedrakt eller i normaltemperatur over 35 dager. Varme- og kontrolløktene ble gjennomført som 50-minutters sykling på 45 % effekt ved 4 $mmol \cdot L^{-1}$ blodlaktatkonsentrasjon ($[la^-]$). Varmegruppa skulle ha 38,5-38,8 °C i rektal temperatur etter varmeøktene, og dette ble sammen med svettetap målt etter hver varmeøkt. Hemoglobinmasse (hb_{masse}), utholdenhetsvariabler og gjennomsnittseffekt ved 15- og 40-minutters all-out-sykling ble testet over to påfølgende dager både før (pre) og etter (post) intervensjonsperioden.

Resultater: Varmegruppa hadde signifikant større økning enn kontrollgruppa i hb_{masse} (hhv. 3,8 ± 2,0 % og 2,2 ± 2,9 %, p = 0,03) og maksimal aerob effektutvikling (W_{max}) (5,7 ± 5,1 % og 2,8 ± 4,2 %, p = 0,04) fra pre til post. VO_{2maks} økte i varme- (5,1 ± 3,1 %), men var uforandret i kontrollgruppa (1,3 ± 5,0 %), med forskjell mellom gruppene ($p < 0,01$). Ved både 15-minutter (8,3 ± 7,0 % og 3,1 ± 6,2 %, p = 0,01) og 40-minutter all-out sykkeltestene (5,7 ± 3,4 % og 1,9 ± 3,8 %, p = < 0,01) var forbedringen i gjennomsnittseffekt størst for de som trente med varmedrakt, med forskjell mellom gruppene. I tillegg ble det observert små til moderate effektstørrelser til fordel for varmegruppa i gjennomsnittseffekt ved 4 $mmol \cdot L^{-1}$ $[la^-]$ og arbeidsøkonomi og $[la^-]$ i trøtt og uthvilt tilstand.

Konklusjon: Fem uker med varmetrening øker hb_{masse} og forbedrer utholdenhetsprestasjon i normaltemperatur hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister.

1 Teori

Teoridelen av masteroppgaven vil granske utvalgte faktorer som er bestemmende for utholdenhetsprestasjoner. I tillegg vil det bli presentert tidligere funn innen varmetreningsstudier, med fokus på prestasjon i normaltemperatur.

Hvor raskt man klarer å forflytte seg over en gitt distanse bestemmes i stor grad av den totale energiomsetningen og hvor effektivt man kan overføre energi til ytre mekanisk effekt (Capelli, 1999; di Prampero, 2003). Energiomsetningen blir bestemt av det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks}), utnyttingsgraden (% VO_{2maks}) og den anaerobe energiomsetningen (Capelli, 1999). Desto lengre et arbeid varer, jo mindre blir det relative bidraget fra anaerobe prosesser (Hallén, 2002). I konkurranser av en viss varighet (>30 minutter) kommer minst 95 % av energien fra den aerobe energiomsetningen (Åstrand et al., 2003), og den anaerobe energiomsetningen er dermed mindre bestemmende for utholdenhetskonkurranser av en viss varighet.

1.1 Maksimalt oksygenopptak

VO_{2maks} er et mål på utøverens evne til å ta opp og forbruke oksygen (O_2) per tidsenhet. Det er i hovedsak fire ulike faktorer som kan begrense VO_{2maks}. Disse er lungenes diffusjonskapasitet, hjertets minuttvolum (MV), blodets oksygenbærende kapasitet og skjelettmusklenes ekstraksjonskapasitet (Bassett & Howley, 2000).

VO_{2maks} kan forklares med Ficks ligning: $VO_{2maks} = MV_{maks} \cdot$a-v O_2-differanse$_{maks}$ (Bassett & Howley, 2000), hvor MV_{maks} er hjertets maksimale minuttvolum per tidsenhet og a-v O_2-differanse$_{maks}$ er den maksimale forskjellen i blodets O_2-konsentrasjon mellom arterielt og blandet venøst blod.

1.1.1 Diffusjonskapasitet

Oksygenopptaket starter med at vi puster inn luft med O_2 ned i lungene. Videre diffunderer oksygenet over i blodet. Ved havnivå utfører kroppen denne oppgaven meget godt. Normal arteriell oksygenmetning hos både utholdenhetstrente og utrente er i området fra 98-99 % ved hvile og kan synke ned mot 90-95 % hos trente ved maksimal fysisk anstrengelse (Mortensen et al., 2005; Powers et al., 1989). Det er likevel argumentert for at dette kan være en begrensende faktor for det maksimale oksygenopptaket, men kun hos utøvere som har et

veldig høyt MV (Dempsey et al., 1984). I denne situasjonen vil de røde blodcellene i lungekapillærene passere i høy hastighet og tiden oksygenet har mulighet til å diffundere over reduseres. Det kan føre til at det ikke er nok tid til å mette blodet like godt som i hvile eller som hos dårligere trente personer (Bassett & Howley, 2000). For å undersøke dette ble det maksimale oksygenopptaket til en gruppe med godt utholdenhetstrente personer målt både med normal romluft (~21 % O_2) og med oksygentilsatt luft (26 % O_2). VO_{2maks} økte signifikant fra 70,1 til 74,7 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ under maksimalt arbeid med O_2-tilsatt luft. Det samme gjorde O_2-metningen i arterielt blod fra 90,6 til 95,9 %. Da man utførte den samme testen i en gruppe moderat trente personer (VO_{2maks} = 56,5 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$), så man at O_2-metningen økte fra 94,1 til 96,1 %, men det påvirket ikke VO_{2maks} signifikant (Powers et al., 1989). Diffusjonskapasiteten kan dermed være en begrensende faktor for VO_{2maks}.

Utholdenhetstrening fører til store kardiovaskulære, muskulære og hematologiske tilpasninger, men endrer ikke de strukturelle og funksjonelle egenskapene til lunger og luftveier (Dempsey & Johnson, 1992; McKenzie, 2012). Det er dermed ikke mulig å trene seg til forbedret diffusjonskapasitet.

1.1.2 Minuttvolum

Forbedringer i VO_{2maks} som følge av trening skyldes i hovedsak en økning i MV, og er i mindre grad bestemt av den arterievenøse oksygen-differansen (a-v O_2-differansen) og perifere tilpasninger. Hele 70-85 % av begrensningen i VO_{2maks} kan kobles til hjertets maksimale MV og blodets evne til å frakte oksygen (Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003).

MV er et resultat av slagvolum (SV) ganget med hjertefrekvens (HF) (Vincent, 2008). Ettersom maksimal HF har langt lavere variasjon mellom individer og er tilnærmet likt mellom utrente og eliteutøvere (Lundby & Robach, 2015) er det maksimalt SV som er det mest avgjørende for hovedforskjellene vi ser i VO_{2maks}-verdier mellom individer av samme kjønn og alder. SV er hvor mye blod hjertet pumper ut ved hvert slag. Jo høyere SV, desto mer oksygenrikt blod kan føres til de arbeidende musklene. MV til godt utholdenhetstrente utøvere (snitt VO_{2maks} = 74 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) har tidligere blitt målt til et snitt på 36 $L \cdot min^{-1}$ (Ekblom & Hermansen, 1968) og helt opp til 45,9 $L \cdot min^{-1}$ hos en skiløper i ypperste verdensklasse (Lundby & Robach, 2015), mens det hos friske utrente personer er målt til omtrent halvparten (Magel & Andersen, 1969).

Økning i enten plasmavolum (PV) eller blodvolum (BV) generelt ser ut til å være effektivt for å øke hjertets SV, som igjen kan øke VO_{2maks} (Mier et al., 1996; Montero & Lundby, 2018). PV kan trolig øke SV alene, selv uten en økning i volum av røde blodceller (RBCV) og hemoglobinmasse (hb_{masse}). Det er dog rapportert at økning i PV alene ikke nødvendigvis øker VO_{2maks} for utøvere over mosjonsnivå, hvis man ikke ser en økning i RBCV og hb_{masse} (Keiser et al., 2015). Warburton et al. (1999) fant at en økning i BV hos elitesyklister som allerede hadde et høyt BV ikke forbedret VO_{2maks} og utholdenhetsprestasjon. Det er godt kjent at utholdenhetstrening øker totalt BV. Totalt BV kan være rundt 35-40 % høyere hos godt trente individer, sammenlignet med utrente (Heinicke et al., 2001). Ved økt BV sørger Starlings lov for at SV øker som en respons på økt fylling av hjertets ventrikler og økt venøs tilbakestrømming (Levine, 1993). Økt BV er derfor en viktig faktor for VO_{2maks}. Strukturelle og funksjonelle endringer i hjertet har også blitt rapportert etter tre måneder med utholdenhetstrening, som tyder på at det er flere faktorer som bestemmer MV (Arbab-Zadeh et al., 2014).

1.1.3 Blodets oksygenbærende kapasitet

Oksygentransporten til de arbeidende musklene kan også endres ved å manipulere mengden hemoglobin (hb) i blodet. Hb er proteinet i de røde blodcellene, som binder oksygen og transporterer det til musklene. Hvert enkelt gram med hb kan binde rundt 1,34 mL O_2 (Hüfner number) (Heinecke et al., 2001). Det fører til at høyere hb_{masse} gir økt transportkapasitet av O_2. Det er vel kjent at utholdenhetsutøvere har høyere hb_{masse}-verdier enn utrente. I studien fra Heinecke et al. (2001) hadde de profesjonelle syklistene de høyeste verdiene, høyere enn blant annet løpere, i både hemoglobinkonsentrasjon, hematokrit (HCT) og total hb_{masse}. Det meste av dette ser ut til å være et resultat av utholdenhetstrening, mens noe også kan være genetisk predisposisjon.

I en studie hvor utrente forsøkspersoner trente utholdenhetstrening i 6 uker økte PV, RBCV og BV med 5, 10 og 7 % (Bonne et al., 2014). Total hb_{masse} viste en økning på over 5 %. Disse forbedringene bidro til at MV økte med 9 %. Etter blodtapping av det økte BV returnerte imidlertid MV tilbake til pre-verdier. hb_{masse} er i andre studier vist å kunne øke med rundt 10 % hos utrente (Montero et al., 2015, 2017). Det virker sannsynlig at det er en sammenheng mellom hb_{masse} og utholdenhetsprestasjon. Dette støttes også av Montero & Lundby (2018). De rapporterer at RBCV kan øke med 10 % etter noen måneder med

utholdenhetstrening og at de beste utholdenhetsutøverne kan ha så mye som 40 % flere røde blodceller enn utrente. Denne økningen er hovedgrunnen til at VO_{2maks} forbedres. Etter kun kort tid med utholdenhetstrening (~1-2 uker) ser man en økning i PV (Convertino, 2007; Montero et al., 2017). Utholdenhetstrening i seg selv reduserer PV akutt underveis i treningsøkten, men PV øker direkte etter utholdenhetstrening igjen, og man har sett en økning allerede fra få minutter til timer etter avsluttet utholdenhetstrening. Økningen i PV kan være fra 9 til 25 % (300 til 700 ml) (Fellmann, 1992). I en studie som undersøkte ryttere i Tour de France 2007 så man at også eliteutøvere får økt PV etter utholdenhetstrening (eller konkurranser). På dag 12 av tre-ukers-rittet så man en gjennomsnittlig økning på ~11 %. Dette ser ut til å være nær maksgrensen av økning, ettersom den totale økningen ikke var målt til mer enn ~12 % på dag 19 (Mørkeberg et al., 2008). Den akutte nedgangen i PV underveis i utholdenhetstreningen gjør at det sentralvenøse trykket reduseres. En respons på dette er økt utskillelse av væskeregulerende hormoner (aldosteron, arginin vasopressin og atriell natriuretisk faktor), som gjør at natrium og vann holdes tilbake i kroppen, det sentralvenøse trykket øker, og PV kan øke (Convertino et al., 1991; Fellmann, 1992; Montero & Lundby, 2018). Økt PV fører til at HCT og arterielt O_2 reduseres, ikke fordi det blir færre røde blodceller, men fordi det blir mer plasma, som gjør at prosentandelen av røde blodceller synker. O_2-sensorer oppfatter denne endringen og starter å produsere hormonet renal erytropoietin (EPO), som stimulerer til utviklingen av røde blodceller. Reduksjonen i HCT kan dermed være hovedmekanismen for å starte å produsere flere røde blodceller, som øker hb_{massen}, ettersom kroppen prøver å opprettholde et stabilt forhold mellom PV og RBCV (Montero & Lundby, 2018). Normal HCT er ikke et tilfeldig nummer, men er regulert til det nivået som maksimerer oksygenleveranse. (Donnelly, 2003). Denne regulasjonsmekanismen kalles kritmeter og foregår i nyrene ved å opp- eller nedregulere produksjonen av EPO (Dunn & Donnelly, 2007). Kritmeteret oppfatter når PV økes, ved at det registrerer lavere HCT og lavere oksygentrykk i nyrene. Dermed økes EPO-produksjonen for å normalisere HCT ved hjelp av flere røde blodceller (Montero & Lundby, 2018). Oppsummert fører utholdenhetstrening til at plasmavolumet øker (etter en akutt nedgang) samtidig som HCT reduseres. Som en respons på dette produseres det flere røde blodceller for å bringe HCT tilbake til balanse ved normalverdien (Montero et al., 2017). Disse nye røde blodcellene inneholder hb, og dermed øker blodets transportkapasitet for O_2. Etter åtte uker utholdenhetstrening er det registrert økning i både røde blodceller og hb_{masse} hos utrente friske individer (Montero et al., 2017). Denne økningen starter med økning i PV og følges opp med en økning i plasma EPO etter omtrent 2 uker med utholdenhetstrening (Montero et al., 2017).

Det finnes også andre teorier enn kritmeter-teorien, som at hb_{masse} kan øke som en respons på økning av varmesjokkproteiner (HSP) etter varmeeksponering (Ely et al., 2014; Hawley et al., 2018).

1.1.4 Arterievenøs O_2-differanse og skjelettmuskulaturens ekstraksjonskapasitet

Oksygeninnholdet i arterielt blod, hos godt trente, er rundt 200 mL $O_2 \cdot L^{-1}$, mens det er rundt 20-30 mL $O_2 \cdot L^{-1}$ i venøst blod (Mortensen et al., 2005). Selv ved maksimal anstrengelse tar kroppen opp nesten alt tilgjengelig oksygen som passerer med blodet gjennom skjelettmuskulaturen (Boushel & Saltin, 2013). Det er dermed transport av oksygenrikt blod som er den viktigste faktoren for å øke VO_{2maks}, og ikke ekstraksjonskapasiteten til skjelettmuskulaturen.

A-v O_2-differansen skal allikevel ikke ekskluderes som en begrensende faktor for VO_{2maks}. Etter 16 uker med trening økte åtte utrente forsøkspersoner det maksimale oksygenopptaket sitt fra 3,15 til 3,68 $L \cdot min^{-1}$. Dette kom som et resultat av 8 % (22,4 til 24,2 $L \cdot min^{-1}$) forbedret MV og 3,6 % (138 til 143 $mL \cdot L^{-1}$) økning i a-v O_2-differansen (Ekblom et al., 1968). Studier som har undersøkt effekten av betablokkere har også vist at a-v O_2-differansen er av betydning for VO_{2maks}. Ved bruk av betablokkere reduseres den maksimale hjertefrekvensen (maks HF) betydelig, helt opp mot 30-35 %, som fører til en nedgang rundt 15-20 % i MV og 5-15 % nedgang i VO_{2maks}. Kroppen responderer med økt SV og a-v O_2-differanse som gjør at reduksjonen i VO_{2maks} ikke blir større (Bassett & Howley, 2000; Tesch, 1985).

1.2 Utnyttingsgrad

Som vi allerede vet setter VO_{2maks} en øvre grense for utholdenhetsprestasjoner ettersom man ikke kan operere på en intensitet over 100 % av sitt maksimale oksygenopptak (Bassett & Howley, 2000). I tillegg kan 100 % av VO_{2maks} maksimalt opprettholdes i ca. 5 til 7 minutter (Mortensen et al., 2005). Det gjør at prestasjonen i konkurranser som varer lenger enn dette, i stor grad blir påvirket av utnyttingsgraden. % VO_{2maks} påvirker utholdenhetsprestasjonen i økende grad etter hvert som arbeidet øker i tid (Coetzer et al., 1993). Utnyttingsgraden er hvor stor prosentandel av VO_{2maks} man kan opprettholde over en gitt tidsperiode (Coyle, 1995, Joyner & Coyle, 2008). % VO_{2maks} er høyere jo kortere konkurransen varer, og reduseres gradvis etter hvert som konkurransetiden øker (Hallén, 2002).

Blodlaktatterskelen (LT) blir i litteraturen definert ulikt, men VO_{2maks} ved LT er uavhengig av definisjonsulikheter i stor grad korrelerende med % VO_{2maks} (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008; Tokmakidis et al., 1998). I sykling og flere andre idretter er blodlaktatkonsentrasjonen ([la^-]) 4 $mmol \cdot L^{-1}$ én vanlig definisjon for LT (Støren et al., 2014), og det er denne definisjonen som brukes i denne oppgaven.

% VO_{2maks} bidrar til at utøvere med lik VO_{2maks} kan prestere ulikt. To utøvere som begge har et literopptak på 5000 mL, men utnyttingsgrad på 75 og 80 %, kan forbruke henholdsvis 3750 og 4000 mL O_2. På samme måte kan en utøver med VO_{2maks} på 4500 mL og utnyttingsgrad på 85 % utnytte seg av mer O_2 (3825 mL), enn en utøver med høyere maksimalt oksygenopptak, for eks. 5000 mL, men med en lavere utnyttingsgrad på 75 %. Denne utøveren vil kun kunne benytte seg av mindre O_2 (3750 mL), til tross for høyere VO_{2maks}. Det er derfor hensiktsmessig å heve utnyttingsgraden så mye som mulig for å heve prestasjonen. Man ser gjerne at utnyttingsgraden er rundt 70-75 % hos moderat trente (Helgerud et al., 2007; Hurley et al, 1984), mens den kan være opp mot 85-90 % hos eliteutøvere (Joyner & Coyle, 2008), ved LT.

Grunnen til at man ser forskjellig % VO_{2maks} hos utøvere med lik VO_{2maks} ser ut til å være relatert til tilpasninger i mitokondrietetthet, kapillærtetthet, aerobe enzymer og laktattransportører (Coyle, 1999; Holloscy et al., 1967; Ivy et al., 1980). Når energiomsetningen øker er VO_2 ved LT det nivået hvor homeostasen blir forstyrret tilstrekkelig nok til at glykogenforbruket og laktatproduksjonen øker markant (Coyle, 1999). Teorien er videre at hvis man øker blant annet de aerobe enzymene og antallet mitokondrier, vil man kunne øke energiomsetningen til et høyere nivå før man når denne terskelen hvor homeostasen blir markant forstyrret. Det er likevel ikke alltid man ser en forbedring i utnyttingsgrad, til tross for dokumenterte forbedringer av disse faktorene. En grunn til at man ikke ser noen forbedring kan være at total mengde muskelmasse som er involvert i arbeidet er avgjørende for den oksidative kapasiteten (Coyle, 1999). Flere år med trening er muligens en faktor som påvirker hvor mye av muskelmassen man kan involvere i arbeid (Coyle et al., 1988; Coyle, 1995). Det kan altså være at % VO_{2maks} er en faktor som ikke endres over uker, men snarere over år med trening. En studie som inkluderte over 100 unge skiløpere observerte en økning i utnyttingsgraden fra ~73 til ~78 % over en periode på 4 år (Rusko,

1987). Systematisk trening over tid, gjerne flere år, er trolig nødvendig for å se særlige forbedringer.

1.3 Arbeidsøkonomi

AØ kan defineres som energien som kreves per enhet masse for å tilbakelegge en avstand (mL $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1}$) (Bassett & Howley, 2000), eller evnen til å konvertere O_2 til arbeid (Lundby et al., 2017a). Ulik AØ kan sammen med % $VO2_{maks}$ forklare mesteparten av forskjellen i utholdenhetsprestasjon for utøvere med lik VO2maks (Bassett & Howley, 2000; Conley & Krahenbuhl, 1980; Horowitz et al., 1994). God AØ kan kompensere for lavere VO_{2maks} eller % VO_{2maks}, også for eliteutøvere (Coyle, 1995). Det er flere faktorer som påvirker AØ. Det ser ut til at muskelfibertypesammensetningen spiller en rolle og at type I-fibrene er mer økonomiske enn type IIA og IIX (Horowitz et al., 1994; Mogensen et al., 2006). Flere studier finner at styrketrening kan forbedre arbeidsøkonomi (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Rønnestad & Mujika, 2013; Sunde et al., 2010; Vikmoen et al., 2016), og en teori er at styrketrening bidrar til at muskelfibre kan adaptere fra den hurtige type IIX til de mer langsomme type IIA (Rønnestad & Mujika, 2013). Kanskje oppnår man også en lignende effekt ved å holde på med systematisk utholdenhetstrening over mange år. Coyle et al. 1992 observerte at de syklistene som hadde holdt på med idretten lengst var de som hadde størst andel type I-fibre, og at jo flere type I-fibre man har, jo bedre er arbeidsøkonomien. Det er usikkert om dette er en effekt av utholdenhetstrening eller ikke. Jobson et al. (2012) har sett at høyintensiv trening kan forbedre AØ, og at det kan forklare hele ~30 % av variasjonen i effekt i time trials i sykling. En elitesyklist på 70 kg som kan holde opprettholde en gjennomsnittseffekt på 400 watt (W) i 1 time, kan ved å forbedre AØ med 1 %, forbedre tiden med 48 sekunder (Jeukendrup et al., 2000). AØ har dermed potensiale til å utgjøre store forskjeller når det gjelder eliteprestasjoner, der forskjellene ved målgang gjerne bare er få sekunder. Kroppsvekt kan også forklare noe av variansen i AØ hos syklister, men i langt mindre grad enn hos løpere, og over 50 % av variansen er fortsatt ikke forstått (Lundby et al., 2017a).

1.4 Varmetrening

Varmetrening er trening utført i et varmt kunstig eller naturlig klima, eller med ekstra påkledning, i den hensikt å forbedre en eller flere av faktorene som påvirker utholdenhetsprestasjonen. Vi må skille mellom om målet er økt prestasjon i normaltemperatur

eller i varme omgivelser. Hovedfokuset for denne masteroppgaven er økt prestasjon i normaltemperatur. Først og fremst reduseres utholdenhetsprestasjonsevnen betydelig ved arbeid i varme omgivelser og fører til dårligere resultater (Cheuvront et al., 2010; Nybo et al., 2014). Idrettskonkurranser arrangeres dog ofte i kjøligere og mer normale temperaturer, men langt fra alltid. Det er bred enighet om at man kan bedre prestasjonsevnen i konkurranser som foregår i et varmt klima ved å bedrive varmetrening (Daanen et al., 2018). Akklimatisering til varme kan oppnås enten naturlig utendørs i et varmt klima eller ved å for eksempel bruke klær som isolasjon, og stenge varmen inne (Armstrong & Maresh, 1991).

Varmetrening tar sikte på å forbedre spesielt blodvariabler (og skjelettmuskulatur (Hawley et al. 2018)) og kan sammenlignes med høydetrening, som via kunstig eller naturlig høyde har som hensikt å forbedre blodvariabler. Der høydetrening foregår i høyden og har som mål å forbedre prestasjonen i lavlandet (i tillegg til i høyden), foregår varmetrening i varmen har som mål å forbedre prestasjonen i normaltemperatur (i tillegg til i varme omgivelser). Når det i nyere tid er sådd tvil om høydetrening faktisk er så effektivt som man tidligere har trodd (Lundby & Robach, 2016), gjør dette at effektene av varmetrening er spesielt interessant å undersøke videre. Lee et al., (2016) har vist at varmetrening kan være like effektivt som høydetrening for å forbedre sykkelprestasjon.

Ved varmetrening øker PV etter kun få dager hos godt trente utøvere (Garrett et al., 2012, Garrett et al., 2014; Karlsen et al., 2015; Keiser et al., 2015). Dette er lignende effekten utrente får når de bedriver utholdenhetstrening. hb_{masse} eller RBCV øker derimot ikke signifikant når man sammenligner med en kontrollgruppe i disse studiene. Dette kan muligens forklares med at intervensjonsperioden ikke var lang nok, men det var likevel tendenser til økning for de som trente i varme.

Det er begrenset med antall studier av høy kvalitet som har undersøkt effektene i normaltemperatur. I flere studier klarer man ikke å påvise at varmegruppa øker prestasjonen i normaltemperatur. Dette gjelder blant annet Karlsen et al. (2015) og Keiser et al. (2015). Felles for disse studiene er at de er av relativt kort varighet (10-14 dager), og det kan dermed være at den korte intervensjonsperioden er grunnen til at man ikke klarer å se en forbedring. Lorenzo et al. (2010) klarte å vise at 10-dagers varmetrening forbedrer sykkelprestasjon hos allerede godt trente, men ikke signifikant bedre fra kontrollgruppa. Patterson et al. (2004) har rapportert at både PV og BV øker etter 8 dager, og fortsatt er økt etter 3 uker, hos moderat

trente menn. De hadde riktignok ingen kontrollgruppe man kunne sammenligne resultatene med, men fortsatt forhøyede plasmaverdier etter tre uker er likevel lovende resultater, basert på teorien om at økt PV fører til utskillelse av EPO og økt hb_{masse} (Montero & Lundby, 2018). Tidligere er det foreslått at fire uker med utholdenhetstrening er nødvendig for å oppnå en økning RBCV og hb_{masse} (Montero et al., 2017). Derfor er det spesielt interessant å se på studier som har undersøkt effektene av varmetrening over minst fire uker.

Oberholzer et al. (2019) observerte 21 mannlige syklister over en periode på 5 ½ uker med fem ukentlige varmeøkter. hb_{masse} økte med over 3 %, men det var kun tendens til at endringen var forskjellig fra kontrollgruppa. Dessverre var det kun 12 forsøkspersoner i intervensjonsgruppa. Den første studien som har vist en klar effekt på hb_{masse} hos godt trente utøvere, signifikant forskjellig fra en kontrollgruppe, er Rønnestad et al. (2021). Studien inkluderte 23 elitesyklister, hvor varmegruppa gjennomførte 5 økter i uka i varmekammer i totalt fem uker. Varmegruppa forbedret hb_{masse} med ~5 %, mens det ikke var noen endring hos kontrollgruppa. Til tross for økningen i hb_{masse} klarte man ikke å vise en klar prestasjonsforbedring i noen av disse studiene. Sistnevnte studie så riktignok en liten til moderat effektstørrelse for varmegruppa i LT, AØ i trøtt tilstand og 15 minutters all-out sykling. Ingen studier som inkluderer godt trente utøvere, har et utvalg som inkluderer kvinner.

1.5 Målsetting, problemstilling og hypotese

Målsetting: Basert på tidligere funn ønsker vi med denne studien å undersøke om fem uker med lavintensiv varmetrening med varmedrakt påvirker hb_{masse} og faktorer for utholdenhetsprestasjon i normaltemperatur hos godt trente syklister, i et utvalg som inkluderer både menn og kvinner.

Problemstilling: Fører fem uker med fem ukentlige lavintensitets varmeøkter med varmedrakt, til forbedringer i hb_{masse} og dermed forbedrede utholdenhetsprestasjoner i normaltemperatur, hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister?

Hypotese: Fem ukentlige lavintensitets varmeøkter med varmedrakt fører til forbedringer i hb_{masse} og dermed forbedrede utholdenhetsprestasjoner i normaltemperatur, hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister.

2 Introduksjon

Til tross for at mennesker har bedrevet utholdenhetstrening i flere hundre år forskes det stadig på nye måter å optimalisere prestasjon på. Særlig for eliteutøvere som prøver å få et forsprang på konkurrentene er dette av stor betydning. Utholdenhetsprestasjoner bestemmes i hovedsak av tre faktorer; Maksimalt oksygenopptak (VO_{2maks}), utnyttingsgrad (% VO_{2maks}) og arbeidsøkonomi (AØ) (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008). Eliteutøvere, så vel som mosjonister, bør derfor være interessert i å forbedre disse faktorene, for å heve sin utholdenhetsprestasjon.

VO_{2maks} er det høyeste nivået oksygen (O_2) kan tas opp og forbrukes av musklene under hardt fysisk arbeid, og setter en øvre grense for utholdenhetsprestasjon (Bassett & Howley, 2000). Tilstrekkelig høyt VO_{2maks} er en forutsetning for utholdenhetsprestasjoner på toppnivå. VO_{2maks} bestemmes i stor grad av fire faktorer; lungenes diffusjonskapasitet, hjertets minuttvolum (MV), blodets oksygenbærende kapasitet og skjelettmusklenes ekstraksjonskapasitet (Bassett & Howley, 2000). Transport av oksygenrikt blod utpekes som den viktigste faktoren for å øke VO_{2maks}. 70-85 % av begrensningen i VO_{2maks} kan kobles til hjertets maksimale MV og blodets evne til å frakte oksygen (Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003). Den totale mengden hemoglobin (hb_{masse}) er trolig viktig for å kunne frakte mer O_2, og henger sammen med volumet av røde blodceller (RBCV) og totalt blodvolum (BV), som i tillegg kan føre til høyere MV via Starlings lov (Levine, 1993; Lundby et al., 2017b). hb_{masse} kan hos utrente økes med rundt 10 % etter utholdenhetstrening (Montero et al., 2015, 2017). For utøvere som allerede er veldig godt trent og har høy hb_{masse} er det vanskeligere å påvirke denne faktoren ytterligere i positiv retning. Høydetrening er en populær måte å prøve å øke hb_{massen} på, men effektiviteten til denne treningsformen er i den senere tid blitt utfordret (Lundby & Robach, 2016).

Varmetrening har vist å føre til at plasmavolumet (PV) øker (Garrett et al., 2012, Garrett et al., 2014; Karlsen et al., 2015; Keiser et al., 2015) og opprettholdes på et forhøyet nivå over minst tre uker (Patterson et al., 2004). Ved økt PV, vil hematokrit (HCT) reduseres som følge av lavere prosentandel røde blodceller. Kritmeter-teorien vil føre til at "kritmeteret" i nyrene oppfatter nedgangen i HCT og nedgangen i oksygentrykket, som resulterer i økt utskillelse av renal erytropoietin (EPO) for å bringe HCT tilbake i balanse (Donnelly, 2003; Dunn & Donnelly, 2007; Montero & Lundby, 2018). Resultatet av den økte EPO-utskillelsen er

økning i RBCV og hb_{masse}. Det er dermed mulig at varmetrening kan føre til økt utholdenhetsprestasjon gjennom disse mekanismene.

De siste årene er det kommet flere studier som virker lovende for effekten varmetrening har på hb_{masse}, men en klar prestasjonsfordel i normaltemperatur er enda ikke blitt påvist (Oberholzer et al., 2019; Rønnestad et al., 2021). Denne oppgaven bygger videre på dette arbeidet og vil undersøke om fem uker med lavintensiv trening med varmedrakt kan øke hb_{massen} og sykkelprestasjonen hos godt trente syklister. For første gang blir også kvinner inkludert i utvalget i en slik studie. Nåværende forskning kan tyde på kvinner kan trenge enten flere varmeøkter enn menn, eller større termisk stress for å oppnå samme adaptasjon til varme, som menn (Wickham et al., 2021). Forskningen på dette området er foreløpig begrenset og mekanismene bak er uklare. Deltakerne ble delt i en varmegruppe og en kontrollgruppe og ble testet grundig i forskjellige prestasjonstester og i hematologiske parametere før og etter en femukers-intervensjonsperiode.

3 Metode

Denne studien er en del av en større studie ved Høgskolen i Innlandet som blant annet skal sammenligne effektene av varmetrening mot trening i normaltemperatur, undersøke effektene av muskelfibertypesammensetning på effektene av styrketrening og undersøke betydningen av muskelfibertypesammensetning på tid over 90 % av maksimalt oksygenopptak ved tre ulike intervalløkter med samme snittbelastning. Denne masteroppgaven tar for seg den første av disse tre delene.

3.1 Etisk godkjenning og samtykke

Før oppstart av studien ble alle deltakerne informert om risikoen det innebar å delta i forskningsprosjektet som forsøksperson, og samtlige ga skriftlig samtykke til å delta (vedlegg 1). Deltagelse var frivillig, og man kunne når som helst trekke seg fra studien uten å gi begrunnelse. Studien ble gjennomført i henhold til de etiske retningslinjene i Helsinkideklarasjonen av 2013 og var godkjent av lokal etisk komité for forskning ved Høgskolen i Innlandet. Studien var ikke registrert i en database.

3.2 Forsøkspersonene

Totalt 53 mannlige og kvinnelige syklister (landevei-, terrengsykling- og triatlonutøvere) ble rekruttert til, og startet deltakelse i studien. Forsøkspersonene ble fordelt i en av to grupper; varmetreningsgruppe (varme, n = 27) eller kontrollgruppe (kontroll, n = 26) Av disse var det 3 menn (varme = 1 kontroll = 2) som frivillig trakk sin deltagelse fra studien underveis. 2 (kontroll = 2) av de mannlige forsøkspersonene som fullførte hele deltagelsen ble ekskludert fra datagrunnlaget pga. for mye høyintensiv trening i forhold til studieprotokollen. I tillegg ble en mann i varmegruppa ekskludert pga. for få varmeøkter etter sykdom. Alle kvinnene som ble rekruttert og startet studien fullførte hele intervensjonsperioden, og er inkludert i datagrunnlaget. Totalt består det endelige datagrunnlaget av 47 forsøkspersoner.

Alle forsøkspersonene som ble rekruttert til studien hadde fullført sin normale off-season-trening. Alle de mannlige forsøkspersoner kan klassifiseres som godt trent eller profesjonelle (nivå 4 og 5) etter inndelingen til De Pauw et al., 2000. De oppfylte også minst to av kriteriene for trening og konkurransestatus, og minst to av de fysiologiske variablene, til Jeukendrup et al., 2000, for å bli klassifisert som godt trent eller bedre. Kvinner kan ikke klassifiseres etter samme system, men det er trygt å si at også kvinnene som er inkludert i studien ville blitt klassifisert som godt trent eller bedre i de aller fleste studier. Alle

forsøkspersonene konkurrerte på nasjonalt eller internasjonalt nivå. Forsøkspersonenes karakteristikk og fysiologiske parametere ved pretest er presentert i tabell 1.

Tabell 1: Karakteristikk og fysiologiske parametere for varmegruppa og kontrollgruppa ved pretest før intervensjonen.

	Varmegruppe (n = 25)	**Kontrollgruppe (n = 22)**	**p**
Menn (antall)	15	12	
Kvinner (antall)	10	10	
Alder (år)	20,6 ± 4,0	23,3 ± 7,1	0,10
Vekt (kg)	71,3 ± 11,3	66,9 ± 7,7	0,12
Høyde (cm)	176,5 ± 11,0	175,6 ± 8,9	0,77
VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1}$)	68,4 ± 10,4	69,0 ± 13,2	0,34
VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	4909 ± 1156	4609 ± 940	0,85
W_{max} (W)	403 ± 101	378 ± 80	0,84
W_{max} ($W \cdot kg^{-1}$)	5,6 ± 1,0	5,7 ± 1,2	0,97
Kompetitiv sykkeltrening (år)	6,3 ± 2,5	5,4 ± 2,6	0,25

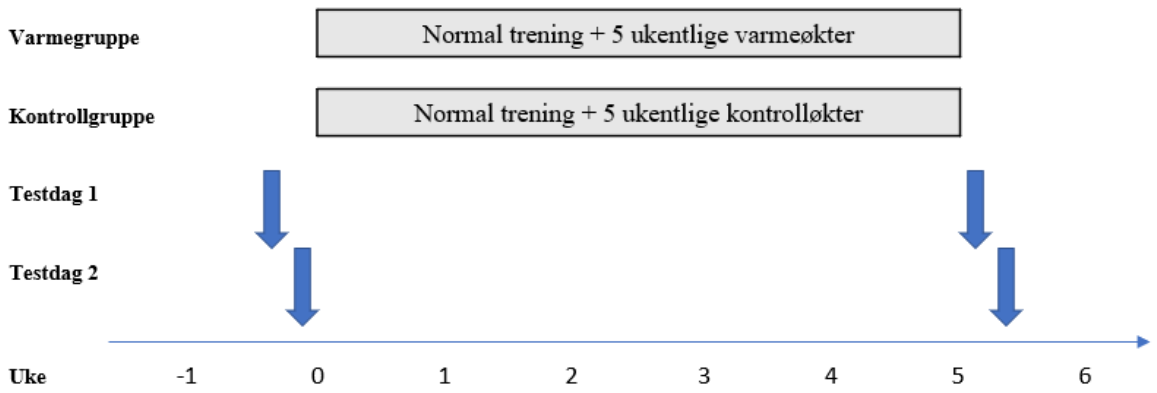
Verdier er gjennomsnitt ± standardavvik. VO_{2maks}: maksimalt oksygenopptak; W_{max}: gjennomsnittseffekt det siste minuttet av VO_{2maks}-testen. Verdier er gjennomsnitt ± SD. Det var ingen forskjell ($p > 0,05$) mellom gruppene i parameterne over.

3.3 Eksperimentelt design

Forskningsprosjektet ble gjennomført som en intervensjonsstudie, med en varmegruppe og en kontrollgruppe. En oversikt over prosjektet er presentert i figur 1. Forsøkspersonene ble plassert i varme- eller kontrollgruppen i samråd med utøvernes trener eller utøveren selv. Det ble i tillegg etterstrebet å få gruppene så like som mulig. I rekrutteringsperioden ble det søkt etter godt trente syklister (trent 7 timer eller mer utholdenhet per uke de siste 6 månedene før prosjektstart og maksimalt oksygenopptak over 65 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ for menn og over 58 $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ for kvinner, i alderen 18-45 år). Eksklusjonskriterier var fravær av over 4 varmeøkter for varmegruppa eller fravær av over 4 kontrolløkter for kontrollgruppa, eller at

man ikke fulgte veiledningen for lav og moderat intensitet på de selvrapporterte treningsøktene i tilstrekkelig grad.

Intervensjonsperioden varte i fem uker, med fem varmeøkter i uka for varmegruppa og fem kontrolløkter i uka for kontrollgruppa. Disse øktene skulle i hovedsak gjennomføres fra mandag til fredag, men det var mulig å benytte helgen til å ta igjen en til to økter dersom man ikke fikk gjennomført fem økter i hverdagene. Totalt skulle forsøkspersonene gjennomføre 25 varme- eller kontrolløkter, men noen måtte gjennomføre opptil to ekstra økter for at intervensjonen skulle opprettholdes helt opp til posttest.



Figur 1: Tidslinje for studien. Tidspunktene for testdag 1 og 2 var de samme for begge gruppene.

Alle deltagerne ble testet over to påfølgende testdager både pre og post intervensjonsperioden på fem uker. Samtlige fysiske tester ble gjennomført ved fysiologisk testlaboratorium ved Høgskolen i Innlandet (Lillehammer, Norge). Testdag 1 bestod av blant annet en ~2 timer lang utholdenhetstest på sykkel som inkluderte laktatprofil, test av VO_{2maks} inkludert måling av gjennomsnittseffekt det siste minuttet (W_{max}), måling av AØ og blodlaktatkonsentrasjon ($[la^-]$) i trøtt tilstand, og 15 minutters all-out-sykling til slutt. På testdag 2 var det en 40-minutters all-out sykkeltest før måling av hb_{masse} og andre blodvariabler. Det ble også gjort noen andre målinger disse to dagene som ikke er inkludert i denne masteroppgaven. Før oppstart ved både testdag 1 og 2 ble kostholdet (mat, drikke og koffein) i type og mengde for de to siste måltidene før test skrevet ned for at det skulle bli gjentatt før post-testing. Dette ble sendt til deltagerne 1-2 dager før posttest for at det skulle bli lettest mulig å gjenta. Ved post-testing ble dag 1 og 2 gjentatt på nytt. Alle testene ved post ble gjennomført på omtrent

samme tidspunkt på dagen som ved pre og med samme testledere, så langt det lot seg gjøre. Alle deltakere fikk ved første testdag pre utdelt et jerntilskudd, og de skulle ta en tablett tilsvarende 100 mg hver dag (Nycoplus Ferro-Retard 100 mg, Takeda AS, Asker, Norge) for å sikre høye nok jernnivåer til å produsere røde blodceller. Posttestingen ble gjennomført 2 dager etter siste varme- eller kontrolløkt.

Deltagerne ble instruert til å fortsette sin normale trening gjennom hele perioden, men skulle trekke fra tiden de brukte på varme- eller kontrolløkter, for at treningsmengden ikke skulle bli høyere enn normalt. Alle kvinnene som deltok i studien, fikk tilsendt et skjema for registrering av sin menstruasjonssyklus, eventuell bruk av hormonelle prevensjonsmidler og hvor lenge det var siden forrige menstruasjon ved testdag 1 både pre og post. Disse dataene er ikke inkludert i studien pga. nye bevis for at menstruasjonssyklus ikke påvirker hb_{masse} (Keller, et al., 2020). Om menstruasjonssyklus påvirker idrettsprestasjon er fortsatt uklart (McNulty et al., 2020).

3.4 Selvrapportert trening

Foruten varme- eller kontrolløktene, trente alle deltakerne omtrent som vanlig under intervensjonen. De ble instruert i å fokusere på treningsintensitet lav og moderat (~LT). Forsøkspersonene noterte all trening de gjennomførte (tabell 2) i en treningsdagbok de fikk tilsendt (vedlegg 2). Utholdenhetstreningen ble delt inn i fem soner basert på prosent av funksjonell terskeleffekt (FTP) eller prosent av maks hjertefrekvens (HF) ved FTP, etter inndelingen til Andrew Coggan. Sone 6 og 7 ble ikke benyttet, men ble inkludert i sone 5. Inndelingen var som følgende:

Sone 1: < 55 % av FTP / < 68 % av HF ved FTP
Sone 2: 56-75 av % FTP / 69-83 % av HF ved FTP
Sone 3: 76-90 av % FTP / 84-94 % av HF ved FTP
Sone 4: 91-105 av % FTP / 95-105 % av HF ved FTP
Sone 5: > 106 % FTP / > 106 % av HF ved FTP

Tabell 2: Total distribusjon av utholdenhetstrening i de ulike intensitetssonene og totalt treningsvolum for hele intervensjonsperioden for varmegruppa og kontrollgruppa.

	Varmegruppe	**Kontrollgruppe**	**p**
Sone 1 (tt:mm)	42:13 ± 21:04	38:04 ± 18:10	0,50
Sone 2 (tt:mm)	21:47 ± 14:54	17:48 ± 11:05	0,34
Sone 3 (tt:mm)	09:02 ± 04:49[£]	06:48 ± 02:04	0,07
Sone 4 (tt:mm)	05:08 ± 02:33	05:09 ± 02:26	0,99
Sone 5 (tt:mm)	00:24 ± 00:27	00:35 ± 00:56	0,42
Totalt treningsvolum (tt:mm)	78:36 ± 43:48[£]	68:27 ± 34:43	0,09

Verdier er gjennomsnitt ± standardavvik. Det var ingen forskjell ($p < 0,05$) mellom gruppene i parameterne over. [£] indikerer tendens til forskjell mellom gruppene ($p < 0,10$). tt:mm – timer og minutter.

3.5 Varmetreningsøktene

De som var i varmegruppa gjennomførte fem restitusjonsøkter i uka med varmedrakt på ca. 45 % av terskelwatten (4 $mmol \cdot L^{-1}$ [la^-]) beregnet ut fra laktatprofilen ved pretest. De 10 første minuttene ble gjennomført på ca. 50-55 % av terskelwatt, før man reduserte belastningen til 40-50 % de siste 40 minuttene. Vekt og rektal temperatur ble målt før øktstart og direkte etter øktslutt, hvor forsøkspersonene foretok temperaturmålingen først, med egne personlige termometre. Dette ble gjort hurtig for å unngå fall i kjernetemperatur før måling. Vekt ble målt helt naken, uten klær, både før og etter økt, og svette ble grundig tørket bort før veiing etter øktslutt. Underveis i varmetreningsøktene skulle deltakerne drikke nøyaktig 0,5 L vann (når som helst i økta), og dette ble det tatt høyde for ved utregning av svetterate. De første øktene ble gjennomført med veiledning fra prosjektmedarbeidere for å sikre korrekt gjennomføring. Hver varmeøkt varte i totalt 50 minutter og ble gjennomført på utøvernes egne personlige sykler og på personlig sykkelruller eller en fast lånt rulle (Computrainer, Racermate, Seattle, USA). Varmedrakten bestod av bibshorts, ullundertøy på både over- og underkropp, samt regnjakke, regnbukse og sokker inkludert plastposer på føttene for å samle opp svette. Dersom man ved øktslutt hadde Borg ≤ 10, skulle man øke belastningen med 25 W til neste økt. Ved Borg ≥ 15 ved øktslutt skulle man øke med 20 W på neste økt. Dersom man ikke nådde ønsket kjernetemperatur på 38,5-38,8 °C ved øktslutt skulle man øke

bekledningen (med for eks. hette, lue, hansker og ekstra jakke) og/eller øke wattbelastningen, men passe på å holde seg under 15 i Borg. Dersom man nådde en kjernetemperatur > 38,8 °C ved øktslutt, skulle man redusere wattbelastningen til neste økt. Forsøkspersonene ble oppfordret til å nå riktig kjernetemperatur (38,5-38,8 °C) og svetterate (0,8-2,0 L) på «så lav watt som mulig». Deltakerne ble oppfordret til å rehydrere etter varmeøktene, og innta ekstra væske til urinen hadde normal farge igjen.

Kjernetemperatur, svetterate, hjertefrekvens, Borg 6-20 (Borg, 1982; Losnegard et al., 2020), subjektiv temperaturfølelse (0-8) og effekt (W) skulle registreres underveis i hver varmeøkt på et eget skjema (vedlegg 3). Minimum 15 minutter og maksimum 30 minutter etter alle varmeøkter ble det notert en øktscore (0-10) for å subjektivt beskrive hvor belastende økta var: 0 – hvile, 1 – veldig, veldig lett, 2 – lett, 3 – moderat, 4 – noe hardt, 5 – hardt, 6 til 7 – veldig hardt, 8 -, 9 -, 10 – maksimal (Foster et al., 2001). Skalaen for temperaturfølelse var: 0 – uutholdelig kaldt, 1 – veldig kaldt, 2 – kaldt, 3 – kjølig, 4 – komfortabelt, 5 – varmt, 6 – veldig varmt, 7 – veldig, veldig varmt, 8 – uutholdelig varmt (Toner et al., 1986). Data fra varmetreningsøktene er presentert i tabell 3.

Tabell 3: Data fra varmeøktene presentert ukesvis og totalt for uke 1-5.

	Uke 1	**Uke 2**	**Uke 3**	**Uke 4**	**Uke 5**	**Gj.snitt Uke 1-5**
Temperatur-endring (°C)	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,4	1,4 ± 0,3	1,4 ± 0,3	1,4 ± 0,4
Svetterate (L)	1,5 ± 0,6	1,6 ± 0,6	1,6 ± 0,6*	1,7 ± 0,5	1,6 ± 0,5£	1,6 ± 0,5*
Effekt (W)	143 ± 27	142 ± 24	141 ± 25	146 ± 27	146 ± 26	144 ± 25
Hjertefrekvens (slag per minutt)	144 ± 13	141 ± 15*	142 ± 16	141 ± 16*	142 ± 16	142 ± 15£
Temperaturfølelse (0-8)	6,2 ± 0,5	6,0 ± 0,5£	6,1 ± 0,6	6,1 ± 0,6	6,0 ± 0,7	6,1 ± 0,5
Borg (6-20)	11,8 ± 1,7	11,5 ± 1,3	11,4 ± 1,4	11,4 ± 1,4	11,4 ± 1,3	11,5 ± 1,3
Øktscore (0-10)	3,7 ± 1,0	3,4 ± 0,7£	3,3 ± 0,8*	3,1 ± 0,6*	3,1 ± 0,6*	3,3 ± 0,6*

Alle verdier er presentert som gjennomsnitt for hver enkelt uke, og gjennomsnitt totalt for uke 1-5 ± standardavvik. * indikerer signifikant forskjell ($p < 0,05$) fra gjennomsnittet av uke 1, mens £ indikerer tendens ($p < 0,10$) fra gjennomsnitt uke 1.

Deltakerne som ikke var i varmegruppa (kontrollgruppa) gjennomførte tilsvarende restitusjonsøkter, 5 ganger av 50 minutter i uka, uten varmedrakt, på lav belastning i normal temperatur.

3.6 Tester

For å standardisere inngangen til testingen ble alle forsøkspersonene instruert til å gjennomføre siste hardøkt tre dager før testdag 1, og ha hviledag dagen før testdag 1, ved både pre- og posttesting. Før posttest skulle varmegruppa slutte med varmetrening to dager før testdag 1. Kostholdet man hadde de siste to måltidene før testdag 1 og 2 ved pretest ble repetert til posttestingen for at dette ikke skulle påvirke resultatene. Inntaket av drikke og næring under selve testene ble også notert ved pretest og gjentatt ved posttesting. Verbal oppmuntring ble gitt under alle de fysiske testene, og gjentatt til samme intensitet ved retesting.

3.7 Langtidstest av utholdenhetsvariabler

Langtidstesten av utholdenhetsvariabler foregikk innendørs i normaltemperatur (16-19 °C) på en elektromagnetisk bremset ergometersykkel (Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, Nederland), som ble justert individuelt til hver forsøksperson, og bestod av seks hoveddeler: Laktatprofil, 10-sekunders maks spurt, VO_{2maks}-test, 30 minutter på en belastning tilsvarende 2 mmol·L^{-1} [la$^-$], repetisjon av tredje siste og nest siste belastning fra laktatprofilen og en 15 minutters all-out test (figur 2). Forsøkspersonene varmet opp i fem minutter (Borg 11-12) før start av laktatprofiltesten. For menn startet testen med 5 minutter sykling på 125 W dersom forsøkspersonen oppga FTP til å være under 325 W. Dersom FTP ble oppgitt å være over 325 W startet testen på 175 W. Kvinner startet testet på 80 W. Deretter ble effekten økt med 80 W for menn og 40 W for kvinner hvert femte minutt. Blod ble tatt fra fingertuppen og analysert for [la$^-$] ved bruk av Biosen C-line glukose- og laktatanalysator (EKF Diagnostics, Barleben, Tyskland) hvert femte minutt. Når [la$^-$] viste en verdi på 2 mmol·L^{-1} eller høyere ble effektøkningen for hvert steg redusert til 25 W for menn og 20 W for kvinner. Testen pågikk helt til man registrerte en [la$^-$]-verdi på 4 mmol·L^{-1} eller høyere.

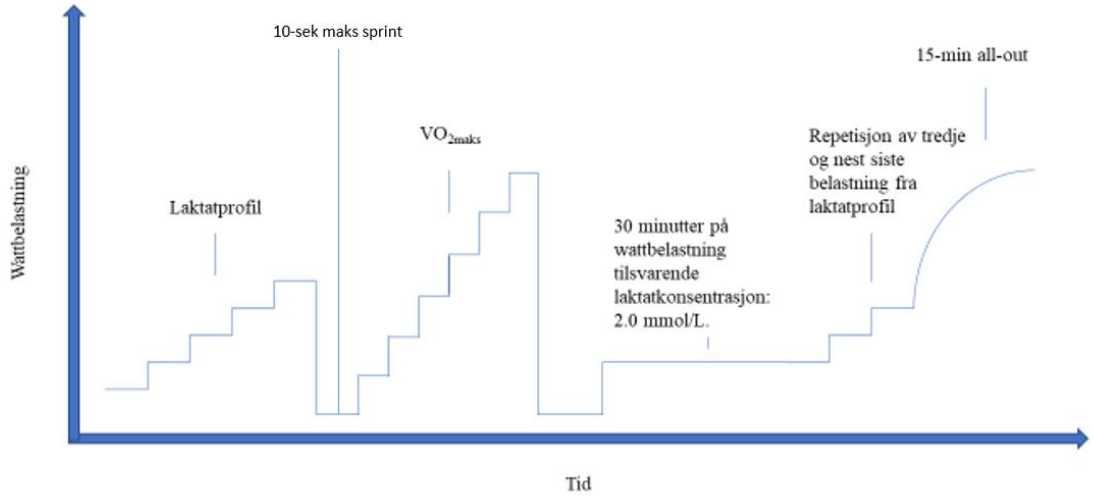
Etter avsluttet laktatprofil gikk syklistene rett over på 10 minutter rolig sykling (100 W). Etter 4-5 minutter av denne 10-minutteren fikk utøver beskjed om stoppe å tråkke for at tråkkfrekvensen skulle falle under 50. Denne tråkkfrekvensen på under 50 ble opprettholdt i 30 sekunder før en 10-sekunders all-out spurt startet. Testleder telte ned fra 10 til 0 sekunder.

Maks effekt, gjennomsnittseffekt og tid til maks effekt ble registrert. Etter 10 minutter hadde passert inkludert tiden det tok å gjennomføre spurten, startet VO_{2maks}-testen. Menn startet denne testen på 200 W hvis det avsluttende steget på laktatprofilen var under 350 W. De som avsluttet over 350 W startet på 250 W. Kvinner startet på 160 W. Belastningen ble økt hvert minutt og økte med 25 W for menn og 20 W for kvinner. Testen ble avsluttet ved utmattelse, eller da tråkkfrekvensen falt under 60 repetisjoner per minutt. Oksygenopptaket ble målt hvert 30. sekund gjennom hele testen ved bruk av et datastyrt metabolsk målesystem med miksekammer (Jaeger Oxycon Pro, Hoechberg, Tyskland), som ble kalibrert både før laktatprofilen og halvveis i 30-minuttersarbeidet på submaksimal belastning. Temperatur og luftfuktighet ble også kalibrert på samme tidspunkter. Gassanalysatoren ble kalibrert med en sertifisert kalibreringsgass med kjent konsentrasjon, og luftstrømturbinen (Triple V, Erich Jaeger, Hoechberg, Tyskland) ble kalibrert med en 3 L, 5530 series, kalibreringspumpe (Hans Rudolph, Kansas City, USA). VO_{2maks} ble definert som gjennomsnittet av de to høyeste målingene. W_{max} ble definert som gjennomsnittseffekten de siste 60 sekundene av VO_{2maks}-testen. I tillegg ble høyeste oppnådde hjertefrekvens registrert, og [la^-] ble målt ett minutt etter testslutt med samme metode som under laktatprofilen. Borg 6-20 ble også registrert direkte etter testslutt.

Etter VO_{2maks}-testen hadde forsøkspersonene 5 minutter med rolig sykling (100 W), hvor de hadde mulighet til å besøke toalettet, før de gjennomførte 30 minutter på submaksimal belastning, tilsvarende 2,0 $mmol \cdot L^{-1}$ [la^-] fra laktatprofilen. 30-minutteren ble gjennomført for å undersøke forskjellene i AØ og [la^-] i trøtt og uthvilt tilstand, siden det tidligere er rapportert forskjeller i uthvilt og trøtt tilstand (Rønnestad et al., 2011). Tråkkfrekvens ble registrert etter 5, 15, 25 og 29 minutter for gjentakelse på posttest. HF, Borg 6-20 og [la^-] ble også registrert på disse tidspunktene. Belastning på disse 30 minuttene var uendret ved posttest uavhengig av endring i laktatprofil ved retest, for å standardisere inngangen til den avsluttende 15-minutters testen. Etter 30 minutter på submaksimal belastning gikk testen direkte over i gjentakelse av det tredje siste og nest siste steget av laktatprofilen. Dette ble gjort med eksakt samme metode som under laktatprofilen. Også her ble eventuelle forandringer i laktatprofil ved posttesting ikke tatt høyde for, for å skape sammenlignbare forhold før 15-minutters testen.

Langtidstesten av utholdenhetsvariabler ble avsluttet med en 15 minutters all-out test. Her styrte forsøkspersonene selv belastningen og de ble instruert i å prøve å oppnå en så høy

gjennomsnitteffekt som mulig, men måtte forbli sittende på sykkelen, som under alle de andre sykkeltestene. Effekt, VO_2 og HF ble målt gjennom hele testen. Borg 6-20 og [la^-] ble registrert etter testslutt på samme måte som tidligere.



Figur 2: Oversikt over hovedelementene i langtidstesten av utholdenhetsvariabler.

3.8 40 minutter all-out sykling

På testdag 2 gjennomførte alle forsøkspersonene en 40 minutters all-out test i normaltemperatur (15 ± 0,5 °C, 46,5 ± 9,5 % luftfuktighet). Testen ble gjennomført på forsøkspersonenes egne personlige sykler tilkoblet sykkelrulle (Tacx Neo Smart T2800, Wassenaar, Nederland). En standardisert oppvarming på 20 minutter ble gjennomført før testen begynte og alt inntak av drikke og næring på både oppvarming og under selve testen ble registrert og gjentatt. Deltakerne målte rektal temperatur og vekt både før og etter testen, med samme metode som under varmeøktene. Ved måling av svetterate ble inntak av mat og drikke trukket fra. Deltakerne ble instruert til å prøve å oppnå en så høy som mulig snittwatt under testen. HF og effekt ble registrert hvert 30. sekund. Borg 6-20 ble registrert hvert 5. minutt hele testen gjennom. Dagsform (1-9), hvor høyere verdi betød bedre dagsform ble også registrert etter avsluttet test. Rett etter fullført test ble en dagsform-score (1-9) registrert, for å subjektivt beskrive hvor bra dagsformen til den enkelte forsøksperson var: 1 – veldig, veldig bra, 2 – veldig dårlig, 3 – dårlig, 4 – litt dårlig, 5 – normal, 4 – litt bra, 3 – bra, 2 – veldig bra, 1 – veldig, veldig bra (Rønnestad et al., 2014).

3.9 hb_{masse}-test og måling av blodvariabler

hb_{masse} ble målt ved karbonmonoksid-gjenpustingsmetoden (Siebenmann et al. 2017) ved bruk av Detalo Performance CO Rebreather (Detalo Health, Birkerød, Danmark). Tiden fra avsluttet 40 minutters-test til start av denne testen ble standardisert til 30 minutter, hvor de siste fem minuttene var i liggende stilling på benken hvor målingen ble utført. Direkte før start av målingen ble tre stk kapillærrør (70 IU/mL safeCLINITUBES, Radiometer Medical ApS, Brønshøj, Danmark) fylt med blod fra fingertupp og analysert for karboksyhemoglobin (% HbCO) ved bruk av ABL80 FLEX CO-OX (Radiometer, Copenhagen, Danmark). Hemoglobinkonsentrasjon ble målt på samme måte, men denne målingen ble gjennomført etter 15 minutter i liggende stilling før start av 40-minutters-testen tidligere på dagen, og etter inntak av 3 dL vann. HTC ble også målt på samme tidspunkt ved å fylle tre stk kapillærrør (70 IU/mL Hemato-Clad, Drummond, Scientific Company, Broomall, PA, USA), som ble sentrifugert i fem minutter ved 13,3 min^{-1} x 1000 g, ved bruk av Pico 17 mikrosentrifuge (Thermo Scientific, Waltham, USA). Disse ble så analysert ved å lese av et mikro-hematokrit skjema (Thermo Scientific, Waltham, USA) (Mondal & Budh, 2020). Gjennomsnittet av tre stk rør ble alltid brukt, både for HCT og % HbCO.

Etter fylling av tre kapillærrør startet testen med at forsøksperson pustet inn rent oksygen (Oxygen 100%, AGA, Oslo, Norge) i ett minutt. Deretter ble en karbonmonoksid-dose (Carbon monoxide 100%, AGA, Oslo, Norge) tilført systemet. Dosen for menn og kvinner var henholdsvis 1,5 og 1,0 mL karbonmonoksid (CO) per kilo kroppsvekt. Dette ble gjenåndet i 6 minutter, før testen ble avsluttet ved total ekshalasjon av lungene og måling av gjenværende CO i systemet ved bruk av Dräger Pac 5500 (Drägerwerk AG, Lübeck, Tyskland). 4 minutter etter avsluttet gjenpusting ble 3 nye kapillærrør fylt fra fingertupp og analysert for % HbCO. hb_{masse} ble beregnet ved bruk av endringen i % HbCO i blodet fra før til etter gjenpustingen av CO. RBCV, PV og BV ble estimert av Detalo-programvaren (Burge & Skinner, 1995). Hele testen ble gjennomført to ganger, og snittet av de to målingene ble brukt for alle verdier. Ved avvik større enn 3 % for hb_{masse} ved to målinger, ble en tredje måling utført og snittet av alle tre målingene ble brukt.

3.10 Statistikk

Plotting av data og statistiske beregninger av p-verdier er gjort i Microsoft Office Excel versjon 2008 (Microsoft, Redmond, USA) ved bruk av Students t-test. Forskjeller innad i samme gruppe fra pre til post er gjort ved bruk av tosidig paret Students t-test, mens

forskjeller mellom gruppene er testet med tosidig uparet Students t-test. Signifikansnivå er satt til $p < 0,05$, mens $p < 0,10$ er brukt for å vise en tendens. Effektstørrelser (ES) er beregnet med Cohens d i Excel. Effektstørrelsene er definert som: 0,2-0,5 = liten effekt, 0,5-0,8 = moderat effekt og >0,8 = stor effekt. Alle resultater er oppgitt som gjennomsnittsverdier ± standardavvik (SD), hvis ikke annet er oppgitt.

4 Resultater

4.1 Pretest

Ved pretest var det ingen forskjeller mellom varme- og kontrollgruppa på hematologiske variabler eller utholdenhetsvariabler.

4.2 Hematologiske resultater

Absoluttverdier for hematologiske verdier pre og post for begge grupper er oppgitt i tabell 4. Både varme- og kontrollgruppa økte i hb_{masse} (hhv. 3,8 ± 2,0 % og 2,2 ± 2,9 %. Økningen var større i varmegruppa enn kontrollgruppa (p = 0,03, ES = 0,56). RBCV økte i varmegruppa (3,5 ± 4,5 %), men ikke i kontrollgruppa (1,2 ± 6,7 %), uten forskjell mellom gruppene (p = 0,18, ES = 0,34). PV økte i varmegruppa (6,1 ± 7,2 %), men ikke i kontrollgruppa (1,5 ± 6,9 %), og det var forskjell mellom gruppene (p = 0,03, ES = 0,68). BV økte i varmegruppa (4,8 ± 4,7 %), men ikke i kontrollgruppa (1,2 ± 4,7 %), og økningen var også her størst i favør av varmegruppa (p < 0,01, ES = 0,79). HCT var uendret for begge grupper etter intervensjonen.

Tabell 4: Hematologiske data før (Pre) og etter (Post) intervensjonsperioden i varme- og kontrollgruppen.

	Varmegruppe		**Kontrollgruppe**		**Gruppe-sammenligning**	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**	**p**	**ES**
hb_{masse} (g)	863 ± 218	895 ± 219*	808 ± 134	826 ± 142*	0,02	0,60
RBCV (mL)	2551 ± 661	2620 ± 612*	2401 ± 444	2420 ± 400	0,26	0,27
PV (mL)	3374 ± 795	3559 ± 757*	3178 ± 418	3232 ± 536	0,05	0,56
BV (mL)	5925 ± 1417	6179 ± 1343*	5579 ± 807	5584 ± 984	0,02	0,70
HTC (%)	42,9 ± 2,8	42,3 ± 2,0	42,9 ± 2,9	42,8 ± 2,1	0,41	-0,21

Verdier er oppgitt som gjennomsnitt ± standardavvik. * indikerer forskjell (p < 0,05) fra pretest innad i samme gruppe. ES – effektstørrelse, hb_{masse} – hemoglobinmasse, RBCV – volum av røde blodceller, PV – plasmavolum, BV – blodvolum, HTC – hematokrit.

4.3 VO_{2maks}-, Wmaks- & 10 sekunders-sprint-resultater

Absoluttverdier for VO_{2maks}, W_{maks} og 10 sekunders-sprinten pre og post for begge grupper er oppgitt i tabell 5. VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$) økte i varmegruppa (5,1 ± 3,1 %), mens det ikke ble registrert noen endring i kontrollgruppa (1,3 ± 5,0 %), med forskjell mellom gruppene ($p < 0,01$, ES = 0,75). Også VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1)}$ økte i varmegruppa (5,0 ± 3,2 %), uten endring i kontrollgruppa (1,3 ± 4,5 %), med forskjell mellom gruppene ($p < 0,01$, ES = 0,83). Dette var uavhengig av kroppsvekt, ettersom den var uforandret i begge grupper. W_{max} økte i både varme- (5,7 ± 5,1 %) og kontrollgruppa (2,8 ± 4,2 %), men den prosentvise endringen var størst for de som trente i varme ($p = 0,04$, ES = 0,70). Maks HF økte i varmegruppa (1,3 ± 3,2 %), uten endring i kontrollgruppa (0,6 ± 2,4 %) og uten forskjell mellom gruppene ($p = 0,40$, ES = 0,30). [la^-] økte også for varmeintervensjonen (7,6 ± 13,2 %), uten forandringer i kontrollgruppa (2,9 ± 15,6 %), uten gruppevise forskjeller ($p = 0,28$, ES = 030). Borg 6-20 var uforandret i begge grupper, uten forskjeller mellom gruppene ($p = 0,81$, ES = 0,07).

For 10 sekunders-sprinten ble gjennomsnittseffekt redusert og tid til maks effekt økt, mens det var tendens til reduksjon i maks effekt, hos varmegruppa. Det var ingen endring i noen av parameterne i kontrollgruppa og det var heller ingen forskjeller mellom gruppene.

Tabell 5: Data fra før (Pre) og etter (Post) intervensjonsperioden i varme- og kontrollgruppen for VO_{2maks}- og 10 sekunders-sprint-testen.

	Varmegruppe		**Kontrollgruppe**		**Gruppe-sammenligning**	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**	**p**	**ES**
Kroppsvekt (kg)	71,3 ± 11,1	71,3 ± 10,6	66,9 ± 7,7	67,0 ± 7,7	0,13	0,56
VO_{2maks} test						
VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	68,4 ± 10,4	71,7 ± 10,2*	69,0 ± 13,2	69,8 ± 13,0	0,58	0,15
VO_{2maks} ($mL \cdot min^{-1}$)	4909 ± 1156	5138 ± 1145*	4609 ± 940	4666 ± 946	0,13	0,50
W_{max} (W)	403 ± 103	423 ± 97*	378 ± 80	388 ± 80*	0,20	0,43
$HF_{maks}VO_2$ (slag min^{-1})	190 ± 10	192 ± 10*	189 ± 8	190 ± 7	0,31	0,37
$Borg_{slutt}$ (6-20)	19,3 ± 0,8	19,4 ± 0,8	19,3 ± 0,7	19,3 ± 0,8	0,85	0,05
$[la^-]_{slutt}$ ($mmol \cdot L^{-1}$)	11,6 ± 2,0	12,3 ± 1,9*	12,5 ± 2,1	12,7 ± 2,0	0,53	0,18
10 sek sprint						
Maks effekt (W)	1184 ± 339	1153 ± 334£	1058 ± 234	1029 ± 257	0,17	0,48
Gj.snittseffekt (W)	909 ± 215	899 ± 213*	844 ± 164	830 ± 182	0,25	0,38
Tid til maks effekt (sek)	1,7 ± 0,6	2,0 ± 0,9*	2,0 ± 0,6	2,1 ± 0,9	0,75	-0,10

Verdier er oppgitt som gjennomsnitt ± standardavvik. * indikerer forskjell ($p < 0,05$) fra pretest innad i samme gruppe. ES – effektstørrelse, VO_{2maks} – maksimalt oksygenopptak, W_{max}: gjennomsnittseffekt det siste minuttet av VO_{2maks}-testen, $HF_{maks}VO_2$ – maksimal oppnådd hjertefrekvens under VO_{2maks}-testen, $Borg_{slutt}$ – Borg-score etter avsluttet VO_{2maks}-test, $[la^-]_{slutt}$ – blodlaktatkonsentrasjon 1 min etter testslutt, Maks effekt – Maksimal oppnådd effekt under 10 sek-sprinten, Gj.snittseffekt – gjennomsnittseffekt under 10 sek-sprinten, Tid til maks effekt – Tid til maks effekt under 10 sek-sprinten.

4.4 Effekt og utnyttingsgrad ved 4 $mmol \cdot L^{-1}$ $[la^-]$

Absoluttverdier fra det submaksimale arbeidet pre og post for begge grupper er oppgitt i tabell 6. Begge grupper forbedret gjennomsnittseffekten ved 4 $mmol \cdot L^{-1}$ $[la^-]$. Varme- økte med 5,1 ± 4,6 %, mens kontrollgruppa økte med 2,6 ± 6,3 %. Det var likevel ikke forskjell mellom gruppene ($p = 0,12$, ES = 0,41).

% VO_{2maks} ved 4 mmol·L^{-1} [la$^-$] endret seg ikke i varmegruppa (0,6 ± 4,2 %), men det var tendens til reduksjon i kontrollgruppa (-1,9 ± 4,7 %) og tendens til prosentvis forskjell mellom gruppene (p = 0,08, ES = 0,53).

Tabell 6: Data fra før (Pre) og etter (Post) intervensjonsperioden i varme- og kontrollgruppen for submaksimalt arbeid.

	Varmegruppe		**Kontrollgruppe**		**Gruppe-sammenligning**	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**	**p**	**ES**
Effekt ved 4 mmol·L^{-1} [la$^-$] (W)	279 ± 71	293 ± 70*	256 ± 52	264 ± 56*	0,13	0,52
% VO_{2maks} ved 4 mmol·L^{-1} (%)	80,7 ± 4,7	81,3 ± 3,9	80,7 ± 5,1	79,1 ± 4,5$^£$	0,10	0,49
AØ$_{uthvilt}$ tredje siste (%)	19,5 ± 1,2	19,5 ± 1,3	19,4 ± 1,2	19,6 ± 1,5	0,92	-0,03
AØ$_{uthvilt}$ nest siste (%)	19,4 ± 3,1	19,8 ± 1,1	20,0 ± 1,1	20,0 ± 1,1	0,59	-0,17
AØ$_{trøtt}$ tredje siste (%)	18,3 ± 1,2	18,8 ± 1,0*	19,1 ± 1,3	19,2 ± 1,4	0,24	-0,31
AØ$_{trøtt}$ nest siste (%)	18,8 ± 1,3	19,2 ± 1,0$^£$	19,4 ± 1,1	19,7 ± 1,0	0,10	-0,51
[la$^-$]$_{uthvilt}$ tredje siste (4 mmol·L^{-1})	1,8 ± 0,4	1,7 ± 0,5	1,9 ± 0,5	2,0 ± 0,6	0,12	-0,44
[la$^-$]$_{uthvilt}$ nest siste (4 mmol·L^{-1})	2,8 ± 0,7	2,5 ± 0,7*	2,9 ± 0,6	2,9 ± 0,7	0,12	-0,49
[la$^-$]$_{trøtt}$ tredje siste (4 mmol·L^{-1})	2,1 ± 0,6	1,8 ± 0,6	2,1 ± 0,7	2,0 ± 0,7	0,45	-0,20
[la$^-$]$_{trøtt}$ nest siste (4 mmol·L^{-1})	3,0 ± 0,9	2,4 ± 0,9*	2,8 ± 0,9	2,7 ± 1,1	0,47	-0,20

Verdier er oppgitt som gjennomsnitt ± standardavvik. * indikerer forskjell (p < 0,05) fra pretest innad i samme gruppe, mens $^£$ indikerer tendens til forskjell (p < 0,10) fra pretest innad i samme gruppe. ES – effektstørrelse, Effekt ved 4 mmol·L^{-1} [la$^-$] – effekt ved blodlaktatkonsentrasjon på 4 mmol·L^{-1}, % VO_{2maks} ved 4 mmol·L^{-1} [la-] – utnyttingsgrad av VO_{2maks} ved blodlaktatkonsentrasjon på 4 mmol·L^{-1}, AØ$_{uthvilt}$ og AØ$_{trøtt}$ – arbeidsøkonomi ved tredje siste og nest siste steg i laktatprofiltesten i uthvilt og trøtt tilstand, [la$^-$]$_{uthvilt}$ og [la$^-$]$_{trøtt}$ – blodlaktatkonsentrasjon ved tredje siste og nest siste steg i laktatprofiltesten i uthvilt og trøtt tilstand.

4.5 [la-] og arbeidsøkonomi på tredje og nest siste belastning av laktatprofilen

I uthvilt tilstand ble det ikke observert noen endringer for hverken arbeidsøkonomi (målt som gross efficiency (GE)) eller [la$^-$] på tredje siste belastning av laktatprofilen. På det nest siste steget i uthvilt tilstand ble [la$^-$] redusert (-8,0 ± 20,0 %) for varmegruppa, men uten forskjell mellom gruppene (p = 0,12, ES = -0,49).

På det tredje siste steget av laktatprofiltesten i trøtt tilstand var [la^-] redusert (-9,0 ± 22,0 %) for varmegruppa, men uten forskjell gruppene (p = 0,45, ES = -0,20). I tillegg økte GE i varmegruppa, uten endring i kontrollgruppa, men heller ikke her var det forskjell mellom gruppene (p = 0,24, ES = -0,31). På det nest siste laktatprofilsteget i trøtt tilstand var [la^-] redusert i varmegruppa (-15,6 ± 26,3 %) igjen, men fortsatt uten forskjell mellom gruppene (p = 0,47, ES = -0,20). GE viste tendens til økning i varmegruppa, uten forskjell i kontrollgruppa, men det var ingen prosentvis økning mellom gruppene (p = 0,74, ES = 0,12).

4.6 15 min all-out-resultater

Absoluttverdier for 15- og 40-minutters-testen pre og post for begge grupper er oppgitt i tabell 7. På 15-minutters all-out sykkeltesten forbedret både varme- og kontrollgruppa seg i gjennomsnittseffekt (hhv. 8,3 ± 7,0 % og 3,1 ± 6,2 %), men endringen var større for varmeintervensjonen (p = 0,01, ES = 0,83). Gjennomsnittet for VO_2 ($mL \cdot min^{-1}$) økte i varme- (5,2 ± 5,2 %), men ikke i kontrollgruppa (1,1 ± 4,4 %), og det var forskjell mellom gruppene (p < 0,01, ES = 0,93). Utnyttingsgrad (% VO_{2maks}) forble uendret i begge grupper, uten gruppevise forskjeller (p = 0,19, ES = 0,45). Maks HF ble redusert i varmegruppa, men forble uendret for kontrollgruppa, uten forskjell mellom gruppene (p = 0,38, ES = -0,24). Varmegruppa økte sine [la^-]-verdier etter intervensjonen, mens kontrollgruppe ikke opplevde noen endring. Det var likevel ikke signifikant forskjell mellom gruppene (p = 0,55, ES = -0,20). Borg 6-20 ble ikke endret i noen av gruppene.

4.7 40 min all-out-resultater

På 40 min all-out sykkeltesten på testdag 2 viste begge grupper en forbedring i gjennomsnittseffekt (hhv. 5,7 ± 3,4 % for varmegruppa og 1,9 ± 3,8 % for kontrollgruppa). Økningen var størst i varmegruppa (p < 0,01, ES = 1,01). Svetteraten økte i varme- (34,9 ± 52,1 %), men ikke i kontrollgruppa (15,8 ± 73,0 %), men den prosentvise endringen var ikke forskjellig mellom gruppene (p = 0,31, ES = 0,26). Ingen av gruppene økte kjernetemperaturen fra pre til post test, men det var tendens til økning i kontrollgruppa, uten at det var forskjell mellom gruppene (p = 0,15, ES = -0,30). Maks HF, Borg 6-20 og dagsform var uforandret innad i begge grupper, og også mellom gruppene.

Tabell 7: Data fra før (Pre) og etter (Post) intervensjonsperioden i varme- og kontrollgruppen for 15-minutters sykkeltesten og 40-minutters sykkeltesten.

	Varmegruppe		**Kontrollgruppe**		**Gruppe-sammenligning**	
	Pre	**Post**	**Pre**	**Post**	**p**	**ES**
15 min test						
Effekt$_{15min}$ (W)	293 ± 79	315 ± 79*	270 ± 61	278 ± 62*	0,08	0,60
VO_2 snitt (mL·min^{-1})	4428 ± 1018	4632 ± 995*	3964 ± 838	3997 ± 815	0,03	0,78
%VO_{2maks}	87,4 ± 3,0	88,5 ± 5,4	87,6 ± 3,3	86,4 ± 2,6	0,19	0,45
$HF_{maks\ 15\ min}$	189 ± 10	187 ± 10*	187 ± 9	186 ± 8	0,72	0,11
[la$^-$] (mmol·L^{-1})	8,3 ± 2,3	9,1 ± 2,3*	8,3 ± 2,7	8,7 ± 2,1	0,58	0,18
$Borg_{slutt}$ (6-20)	19,2 ± 1,0	19,1 ± 1,0	19,3 ± 0,8	19,2 ± 0,9	0,70	-0,12
40 min test						
Effekt$_{40min}$ (W)	278 ± 72	294 ± 76*	261 ± 58	266 ± 58*	0,17	0,48
Svetterate	1,2 ± 0,3	1,5 ± 0,6*	1,1 ± 0,5	1,1 ± 0,4	<0,01	1,13
Temperatur-forandring (°C)	1,9 ± 0,5	2,0 ± 0,6	1,8 ± 0,7	2,0 ± 0,5£	0,82	-0,08
$HF_{maks\ 40\ min}$	186 ± 11	186 ± 11	185 ± 7	185 ± 7	0,85	0,08
Borg gj.snitt (6-20)	16,7 ± 0,9	16,6 ± 1,1	16,6 ± 0,9	16,6 ± 1,0	0,86	0,05
Dagsform (1-9)	5,8 ± 0,9	5,5 ± 1,0	5,6 ± 0,9	5,5 ± 1,1	0,78	-0,08

Verdier er oppgitt som gjennomsnitt ± standardavvik. * indikerer forskjell ($p < 0,05$) fra pretest innad i samme gruppe, mens £ indikerer tendens til forskjell ($p < 0,10$) fra pretest innad i samme gruppe. ES – effektstørrelse, $Effekt_{15min}$ – gjennomsnittseffekt for 15-minutters testen, VO_2 snitt – gjennomsnittlig oksygenopptak, $\%VO_{2maks}$ – utnyttingsgrad, $HF_{maks\ 15\ min}$ – maksimal hjertefrekvens ved 15-minutters testen, [la$^-$] – blodlaktatkonsentrasjon, $Borg_{slutt}$ – Borg-score etter endt test, $Effekt_{40min}$ – gjennomsnittseffekt for 40-minutters testen, Svetterate – Totalt svettetap, $HF_{maks\ 40\ min}$ - maksimal hjertefrekvens ved 40-minutters testen, Borg gj.snitt – Gjennomsnittlig Borg-score under 40-minutters testen (målt hvert femte minutt), Dagsform – Subjektiv dagform oppgitt etter øktslutt.

5 Diskusjon

Hovedfunnene i denne studien er at varmegruppa økte mer enn kontrollgruppa i hb_{masse} (31 ± 16 g vs. 19 ± 21 g). PV og BV økte kun i varmegruppa, med forskjell mellom gruppene. VO_{2maks} økte kun for varmegruppa. I tillegg ble W_{max}, 15-minutter all-out, 40-minutter all-out og effekt ved 4 mmol·L^{-1} [la^-] forbedret i begge grupper, men varmeintervensjonen viste seg å være mest effektiv. Disse funnene støtter hypotesen om at fem uker med varmetrening fører til forbedringer i hb_{masse} og dermed forbedrede utholdenhetsprestasjoner i normaltemperatur, hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister.

5.1 hbmasse og blodvariabler

Dette er både den første studien med varmedrakt som ser en klar forbedring i hb_{masse} og utholdenhetsprestasjon, hos godt trente syklister, og den første studien som observerer det samme, i et utvalg som også inkluderer kvinner. At varmegruppa økte sin hb_{masse} sammenlignet med kontrollgruppa, er i tråd med tendensen observert av Oberholzer et al. (2019), hos utholdenhetstrente menn, og Karlsen et al. (2015), som undersøkte godt trente syklister. Våre funn støttes i tillegg av Rønnestad et al. (2021), som også observerte at varmegruppa økte mer enn en kontrollgruppe i hb_{masse} etter fem uker med varmetrening med et veldig likt studiedesign.

Økningen vi så i PV i varmegruppa var forventet basert på tidligere publiserte varmetreningsstudier (Garrett et al., 2012, Garrett et al., 2014; Karlsen et al., 2015; Keiser et al., 2015, Lorenzo et al., 2010), som har observert økning i PV allerede etter få dager, og fortsatt forhøyede verdier etter 2-3 uker. Når PV øker, reduseres HCT samtidig. I tillegg blir O_2-trykket i nyrene lavere. Basert på kritmeter-teorien vil kroppen jobbe for å returnere til baseline HCT-nivå. Dette gjøres ved at nyrene skiller ut EPO og at flere røde blodceller kommer til (Montero & Lundby, 2018). Økning i PV er dermed avgjørende for økning i RBCV, som igjen fører til økt hb_{masse}. Det er derfor naturlig at man ved økte hb_{masse}-verdier også ser økte verdier for PV. Størrelsen på den akutte økningen i PV er vist å henge sammen med størrelsen på svettetapet (dehydrering) underveis i varmetreningen (Akerman et al., 2017). Deltakerne i vår studie svettet i gjennomsnitt 1,6 ± 0,5 L på varmeøktene, som svarer til 2,2 % av kroppsvekt, og er nok til å oppnå minst en mild form for dehydrering (Maughan & Shirreffs, 2010).

Vi observerte også en økning i BV i vår studie, som i teorien vil øke SV og kan bidra til forbedrede utholdenhetsprestasjoner (Mier et al., 1996; Montero & Lundby, 2018). Økt BV er tidligere vist hos Patterson et al. (2004), etter tre uker med varmetrening, men det var ingen kontrollgruppe å sammenligne med i den studien. I vår studie har vi vist at BV øker mer med varmetrening, sammenlignet med en kontrollgruppe. Vi observerte også en økning i RBCV etter varmeintervensjonen, men klarte ikke å bevise en forskjell sammenlignet med kontrollgruppa ($p = 0,18$). Dersom kritmeter-teorien stemmer er det forventet å se en økning i RBCV når man ser en økning i PV. Montero et al. (2017) har foreslått at fire uker med utholdenhetstrening er nødvendig for å oppnå en økning RBCV. Ettersom det var snakk om utrente i deres studie, og vi hadde godt trente utøvere i vår studie kan det tenkes at flere uker kreves for å oppnå tilsvarende effekt hos godt trente. I tillegg observerte de at RBCV fortsatte å øke betydelig til uke 8. Det kan derfor tenkes at vi hadde sett forskjell mellom gruppene i vår studie om vi hadde utvidet intervensjonen ytterligere fra fem uker.

Sammenlignet med høydetrening er 3,8 % økning i hb_{masse} som vi observerte i varmegruppa veldig lovende resultater. Det er de senere årene kommet nye bevis for at høydetrening ikke er like effektivt, for å øke hb_{masse} eller utholdenhetsprestasjon, som man tidligere har trodd. Robach et al. (2018) så ingen forbedringer i hb_{masse} eller aerob prestasjon etter at en «live high-train low»-protokoll i naturlig høyde (~2200 moh.) ble sammenlignet med «live low-train low» hos godt trente skiløpere over 26 dager. Siebenmann et al. (2015) har observert en økning i hb_{masse} på 5,3 % etter fire ukers opphold på ~3450 moh., men det var kun ni forsøkspersoner og de var kun normalt trent. Det er derfor usikkert om fremgangen ville vært mindre eller på samme nivå, for godt trente utøvere, som vi har i vår studie.

5.2 $VO2_{maks}$, W_{max} og 10-sekunder sprint

Den større økningen i hb_{masse} i varmegruppa korrelerer med forbedringer i VO_{2maks} og W_{max}. Dette var forventet, ettersom det er sterk sammenheng mellom hb_{masse} og VO_{2maks} hos idrettsutøvere (Gore et al., 1997; Heinicke et al., 2001; Lundby & Robach, 2015; Schmidt & Prommer, 2010). Det er riktignok ikke alltid man ser dette i praksis. Rønnestad et al. (2021) så ikke at varmegruppa økte mer i VO_{2maks}, til tross for større forbedringer i hb_{masse}. 1 g hb_{masse} er assosiert med en endring i VO_{2maks} på omtrent 4 $mL \cdot min^{-1}$. Etter denne teorien skulle de 31 g økt hb_{masse} vi observerte i varmegruppa bli fulgt av en økning i VO_{2maks} på 134 $mL \cdot min^{-1}$. I praksis så vi en økning på 229 $mL \cdot min^{-1}$. At vi så større endringer enn vi kunne forvente beviser at det er flere faktorer enn kun hb_{masse} som er bestemmende for VO_{2maks}.

Dette er vist av Skattebo et al. (2020), hvor økningen i hb_{masse} og BV etter 10-ukers utholdenhetstrening, ble fjernet ved blodtapping. Til tross for dette var VO_{2maks} fortsatt forhøyet. Dette kan muligens forklares av økt MV, forandringer i a-v O_2-differansen og perifere tilpasninger. I vår studie kan en av grunnene til større økning være at økning i PV og BV førte til økning i SV og MV (Mier et al., 1996; Montero & Lundby, 2018).

Den større økningen vi så i W_{max} for varmegruppa var også å forvente, ettersom W_{max} er definert som gjennomsnittseffekten det siste minuttet av VO_{2maks}-testen. Det er et lineært forhold mellom effekt og VO_2 (Iannetta et al., 2019), som i praksis betyr at de forhøyede VO_{2maks}-verdiene vi så bør bli fulgt av høyere W_{max}-verdier (og motsatt). W_{max} er vist å være en god predikator for sykkelprestasjon hos trente syklister (Faria et al., 2005; Hawley & Noakes, 1992), men hvis vi bruker W_{max} som et indirekte mål på VO_{2max} vet vi at det er viktig at verdien er på et tilstrekkelig høyt nivå, men at den ikke kan garantere gode prestasjoner (Bassett & Howley, 2000).

På 10-sekunders sprinten observerte vi at varmeintervensjonen reduserte sin gjennomsnittseffekt, økte tiden til maks effekt og at det var tendens til lavere maks effekt. Det var riktignok ikke forskjell fra kontrollgruppa, som ikke endret seg. Det anaerobe energisystemet er hovedbidragsyteren for arbeid over så kort tid (Gastin, 2001). Deltakerne i denne studien trente veldig lite på høy intensitet (tabell 2). Det er derfor ikke å forvente å se en bedring i disse parameterne.

5.3 Utnyttingsgrad

Vi så ingen endring i utnyttingsgrad (målt som prosent av $VO_{2maks)}$ i vår studie, hverken ved 4 $mmol \cdot L^{-1}$ [la^-] eller på 15-minutters testen. VO_2 økte riktignok for varme- og til forskjell fra kontrollgruppa under 15-minutters testen, men denne økningen svarte kun til økningen i VO_{2maks}. Grunnen til at VO_2 var høyere under 15-minutters testen var dermed at VO2maks var økt, og ikke at % VO_{2maks} var økt. Rusko (1987) så en forbedring i % VO2maks fra ~73 til ~78 % over en periode på 4 år hos unge skiløpere. Basert på dette er trolig systematisk trening over lang tid nødvendig for å forbedre denne faktoren. Når vår studie undersøker eldre utøvere som allerede har trent systematisk i mange år, og i tillegg har en % VO2maks > 80 % ved LT og > 85 % ved 15-minutters testen, er det ikke uforventet at vi ikke ser noen forandring etter fem uker.

5.4 Arbeidsøkonomi

AØ (målt som GE) økte ikke i varmeintervensjonen, sammenlignet med kontrollgruppa i vår studie. Vi så imidlertid en økning i trøtt tilstand, ved gjentakelse av tredje siste steg av laktatprofiltesten, og tendens til økning ved gjentakelse av det nest siste steget, innad i varmegruppa. Selv om det ikke ble påvist en forskjell fra kontrollgruppa, så vi en liten til moderat effektstørrelse i fordel av varmetreningsintervensjonen. Tidligere varmetreningsstudier har ikke rapportert forbedringer i AØ etter 2-5 uker hos trente syklister (Karlsen et al., 2015; Mikkelsen et al., 2019). Forbedret AØ vil kunne føre til lavere [la^-]-verdier ved samme belastning. Vi observerte at [la^-] ble redusert i varmegruppa på det nest siste steget av laktatprofiltesten i både trøtt og uthvilt tilstand. Ved økt hb_{masse} vil blodets O_2-transportkapasitet øke (Bassett & Howley, 2000). Dette vil potensielt kunne føre til at man kan arbeide på en høyere effekt, på samme [la^-]-nivåer som tidligere. Endringer i styrke har tidligere vist å kunne forbedre blant annet AØ (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Rønnestad & Mujika, 2013; Sunde et al., 2010; Vikmoen et al., 2016). Maks effekt i beinpress ble målt pre og post intervensjonsperioden, men dataene er ikke inkludert i denne masteroppgaven. Det kan derfor ikke utelukkes at de effektene vi så for AØ skyldes endringer i styrke.

5.5 Effekt ved 4 mmol·L^{-1} [la^-], 15-minutter all-out og 40-minutter all-out

Både varme- og kontrollgruppa økte snitteffekt ved 4 mmol·L^{-1} [la^-], 15-minutter all-out og 40 minutter all-out. Det var ingen forskjeller mellom gruppene ved 4 mmol·L^{-1} [la^-], men det ble observert en liten effektstørrelse til fordel for de som trente med varmedrakt. Ved både 15- og 40-minutters sykkeltestene var økningen større i varme- enn kontrollgruppa når man ser på de prosentvise endringene. Dette er til forskjell fra hva Karlsen et al. (2015) og Keiser et al. (2015) har rapportert etter tidligere varmetreningsstudier på syklister. Disse studiene varte riktignok i kun 10-14 dager, noe som kan tyde på at to uker er for liten tid for å oppnå forbedringer for disse parameterne.

5.6 Praktiske vurderinger

Varmetrening blir gjerne sammenliknet med (enten kunstig eller naturlig) høydetrening, da begge disse treningsformene har som hensikt å forbedre hematologiske parametere, som fører til bedre utholdenhetsprestasjoner i lavlandet. Med effektene vi har demonstrert ved varmetrening i denne studien, samt andre varmetreningsstudier, og den nye skepsisen til effektiviteten til høydetrening, bør seriøse utøvere på et høyt nivå vurdere varmetrening som et alternativ til høydetrening. Varmetrening har noen helt klare fordeler sammenlignet med

høydetrening. Man trenger ikke reise noen steder, noe som har vist seg å være ekstra utfordrende i nyere tid som følge av COVID-19-pandemien. Selv i normale tider kan dette være en uønsket belastning, både med tanke på kostnader, familieliv og logistikk. Varmetreningsprotokollen vi har brukt i denne studien kan for de aller fleste gjennomføres hjemme og tar under en time å gjennomføre per økt. Da kan man i tillegg leve et normalt liv hjemme og trenger ikke ta hensyn til høydeakklimatisering ved treningsbelastningen. Høydetrening må riktignok fortsatt anbefales dersom man skal konkurrere i høyden, da høydeakklimatisering er avgjørende for prestasjoner i høyden (Burtscher et al., 2018). På den annen side kan varmeakklimatisering være en ekstra fordel ved varmetrening dersom man skal konkurrere i et varmt klima (Daanen et al., 2018), noe som er langt fra uvanlig. Å gjennomføre varmetreningsøkter kan oppleves tyngre fysisk og mentalt, spesielt den første perioden, men dette blir bedre etter hvert som man blir bedre akklimatisert til varmen.

5.7 Konklusjon

Det kan konkluderes med at i denne studien, var effektene av fem ukentlige varmeøkter bedre enn for tilsvarende trening gjennomført i normal temperatur hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister. Varmetrening forbedret hb_{masse} og andre blodvariabler, samt en rekke utholdenhetsvariabler, som i sum førte til bedre utholdenhetsprestasjoner.

5.8 Perspektiver

Det er gjort flere varmetreningsstudier den siste tiden, som peker i samme retning som denne studien. Dette er allikevel muligens den studien som samlet sett har funnet flest positive effekter. Basert på dette bør varmetrening vurderes av seriøse utholdenhetsutøvere som allerede er på et høyt nivå, enten man skal konkurrere i normaltemperatur eller i varmen. Vi har i denne studien vist at et utvalg, som også inneholder kvinner, kan øke prestasjon og hb_{masse} med varmetrening. Videre forskning kan undersøke om dette også kan vises i utvalg kun bestående av kvinner og om det er noen kjønnsforskjeller. Det vil også være av interesse å se på effektene av studier med lengre intervensjonsperiode enn fem uker, samt undersøke hvor lenge blant annet hb_{masse} er forhøyet og hva som skal til for å opprettholde effektene. Å sammenligne varmetrening med høydeeffekter oppnådd rundt 3450 meter over havet burde også undersøkes nærmere, ettersom denne høyden har vist seg å være effektiv for å øke hb_{massen} til normalt trente.

Referanseliste

Akerman, A. P., Lucas, S. J. E., Katare, R., & Cotter, J. D. (2017). *Heat and Dehydration Additively Enhance Cardiovascular Outcomes following Orthostatically-Stressful Calisthenics Exercise. Frontiers in Physiology, 8.* doi:10.3389/fphys.2017.00756

Arbab-Zadeh, A., Perhonen, M., Howden, E., Peshock, R. M., Zhang, R., Adams-Huet, B., Haykowsky, M. J., & Levine, B. D. (2014). *Cardiac remodeling in response to 1 year of intensive endurance training. Circulation, 130(24),* 2152–2161. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.010775

Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (1991). *The Induction and Decay of Heat Acclimatisation in Trained Athletes. Sports Medicine, 12(5),* 302–312. doi:10.2165/00007256-199112050-00003

Astorino, T. A., Schubert, M. M., Palumbo, E., Stirling, D., & McMillan, D. W. (2013). *Effect of Two Doses of Interval Training on Maximal Fat Oxidation in Sedentary Women. Medicine & Science in Sports & Exercise, 45(10),* 1878–1886. doi:10.1249/mss.0b013e3182936261

Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., & Grivas, G. V. (2016). *Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners. Journal of Strength and Conditioning Research, 30(8),* 2361–2368. doi:10.1519/jsc.0000000000001316

Bassett, D. R. (2000). *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 70.* doi:10.1097/00005768-200001000-00012

Bonne, T. C., Doucende, G., Flück, D., Jacobs, R. A., Nordsborg, N. B., Robach, P., … Lundby, C. (2014). *Phlebotomy eliminates the maximal cardiac output response to six weeks of exercise training. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 306(10),* R752–R760. doi:10.1152/ajpregu.00028.2014

Borg G. A. (1982). *Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine and science in sports and exercise, 14(5),* 377–381.

Boushel, R., & Saltin, B. (2013). *Ex vivo measures of muscle mitochondrial capacity reveal quantitative limits of oxygen delivery by the circulation during exercise. The international journal of biochemistry & cell biology, 45(1),* 68–75. https://doi.org/10.1016/j.biocel.2012.09.024

Burge, C. M., & Skinner, S. L. (1995). *Determination of hemoglobin mass and blood volume with CO: evaluation and application of a method. Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 79(2),* 623–631. https://doi.org/10.1152/jappl.1995.79.2.623

Burke, E. R. (1980). *Physiological Characteristics of Competitive Cyclists. The Physician and Sportsmedicine, 8(7),* 78–84. doi:10.1080/00913847.1980.11710938

Burtscher, M., Niedermeier, M., Burtscher, J., Pesta, D., Suchy, J., & Strasser, B. (2018). *Preparation for Endurance Competitions at Altitude: Physiological, Psychological, Dietary and Coaching Aspects. A Narrative Review. Frontiers in physiology, 9,* 1504. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01504

Capelli, C. (1999). *Physiological determinants of best performances in human locomotion. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 80(4),* 298–307. doi:10.1007/s004210050596

Cheuvront, S. N., Kenefick, R. W., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2010). *Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. Journal of Applied Physiology, 109(6),* 1989–1995. doi:10.1152/japplphysiol.00367.2010

Cocks, M., Shaw, C. S., Shepherd, S. O., Fisher, J. P., Ranasinghe, A. M., Barker, T. A., … Wagenmakers, A. J. M. (2013). *Sprint interval and endurance training are equally effective in increasing muscle microvascular density and eNOS content in sedentary males. The Journal of Physiology, 591(3),* 641–656. doi:10.1113/jphysiol.2012.239566

Coetzer, P., Noakes, T. D., Sanders, B., Lambert, M. I., Bosch, A. N., Wiggins, T., & Dennis, S. C. (1993). *Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. Journal of Applied Physiology, 75(4),* 1822–1827. doi:10.1152/jappl.1993.75.4.1822

Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). *Running economy and distance running performance of highly trained athletes. Medicine & Science in Sports & Exercise, 12(5), 357–360.* doi:10.1249/00005768-198012050-00010

Convertino, V. A. (2007). *Blood Volume Response to Physical Activity and Inactivity. The American Journal of the Medical Sciences, 334(1),* 72–79. doi:10.1097/maj.0b013e318063c6e4

Convertino, V. A., Mack, G. W., & Nadel, E. R. (1991). *Elevated central venous pressure: a consequence of exercise training-induced hypervolemia?. The American journal of physiology, 260(2 Pt 2),* R273–R277. https://doi.org/10.1152/ajpregu.1991.260.2.R273

Coyle, E. F. (1995). *Integration of the Physiological Factors Determining Endurance Performance Ability. Exercise and Sport Sciences Reviews, 23,* 25-64. doi:10.1249/00003677-199500230-00004

Coyle, E. F. (1999). *Physiological determinants of endurance exercise performance. Journal of Science and Medicine in Sport, 2(3),* 181–189. doi:10.1016/s1440-2440(99)80172-8

Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K., & Walters, T. J. (1988). *Determinants of endurance in well-trained cyclists. Journal of Applied Physiology, 64(6), 2622–2630.* doi:10.1152/jappl.1988.64.6.2622

Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). *Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. Medicine and science in sports and exercise, 24(7),* 782–788.

De Pauw, K., Roelands, B., Cheung, S. S., de Geus, B., Rietjens, G., & Meeusen, R. (2013). *Guidelines to classify subject groups in sport-science research. International journal of sports physiology and performance, 8(2),* 111–122. https://doi.org/10.1123/ijspp.8.2.111

Dempsey J. A., Johnson B. D. (1992). *Demand vs. capacity in the healthy pulmonary system. Schweizerische Zeitschrift fur Sportmedizin. 40(2):*55-64.

Dempsey, J. A., Hanson, P. G., & Henderson, K. S. (1984). *Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. The Journal of Physiology, 355(1),* 161–175. doi:10.1113/jphysiol.1984.sp015412

Di Prampero, P. E. (2003). *Factors limiting maximal performance in humans. European Journal of Applied Physiology, 90(3-4),* 420–429. doi:10.1007/s00421-003-0926-z

Donnelly, S. (2003). *Why is Erythropoietin Made in the Kidney? Hypoxia,* 73–87. doi:10.1007/978-1-4419-8997-0_6

Dunn, A., & Donnelly, S. (2007). *The Role of the Kidney in Blood Volume Regulation: The Kidney as a Regulator of the Hematocrit. The American Journal of the Medical Sciences, 334(1),* 65–71. doi:10.1097/maj.0b013e318095a4ae

Daanen, H. A. M., Racinais, S., & Périard, J. D. (2017). *Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Medicine, 48(2),* 409–430. doi:10.1007/s40279-017-0808-x

Ekblom, B., & Hermansen, L. (1968). *Cardiac output in athletes. Journal of Applied Physiology, 25(5), 619–625.* doi:10.1152/jappl.1968.25.5.619

Ekblom, B., Åstrand, P. O., Saltin, B., Stenberg, J., & Wallström, B. (1968). *Effect of training on circulatory response to exercise. Journal of Applied Physiology, 24(4),* 518–528. doi:10.1152/jappl.1968.24.4.518

Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). *The science of cycling: physiology and training - part 1. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 35(4),* 285–312. https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00002

Faria, I. E., Faria, E. W., Roberts, S., & Yoshimura, D. (1989). *Comparison of Physical and Physiological Characteristics in Elite Young and Mature Cyclists. Research Quarterly for Exercise and Sport, 60(4),* 388–395. doi:10.1080/02701367.1989.10607469

Fellmann, N. (1992). *Hormonal and Plasma Volume Alterations Following Endurance Exercise. Sports Medicine, 13(1),* 37–49. doi:10.2165/00007256-199213010-00004

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). *A new approach to monitoring exercise training. Journal of strength and conditioning research, 15(1),* 109–115.

Garrett, A. T., Creasy, R., Rehrer, N. J., Patterson, M. J., & Cotter, J. D. (2012). *Effectiveness of short-term heat acclimation for highly trained athletes. European journal of applied physiology, 112(5),* 1827–1837. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2153-3

Garrett, A. T., Goosens, N. G., Rehrer, N. J., Patterson, M. J., Harrison, J., Sammut, I., & Cotter, J. D. (2014). *Short-term heat acclimation is effective and may be enhanced rather than impaired by dehydration. American journal of human biology : the official journal of the Human Biology Council, 26(3),* 311–320. https://doi.org/10.1002/ajhb.22509

Gastin P. B. (2001). *Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 31(10),* 725–741. https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003

Gore, C. J., Hahn, A. G., Burge, C. M., & Telford, R. D. (1997). *VO2max and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training. International journal of sports medicine, 18(6),* 477–482. https://doi.org/10.1055/s-2007-972667

Hallén, J. (2002). *Hva bestemmer prestasjonen i utholdenhetsaktiviteter? Oslo: Norges idrettshøgskole.*

Hawley, J. A., & Noakes, T. D. (1992). *Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. European journal of applied physiology and occupational physiology, 65(1),* 79–83. https://doi.org/10.1007/BF01466278

Hawley, J. A., Lundby, C., Cotter, J. D., & Burke, L. M. (2018). *Maximizing Cellular Adaptation to Endurance Exercise in Skeletal Muscle. Cell metabolism, 27(5),* 962–976. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.04.014

Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, A., Huber, G., … Schmidt, W. (2001). *Blood Volume and Hemoglobin Mass in Elite Athletes of Different Disciplines. International Journal of Sports Medicine, 22(7),* 504–512. doi:10.1055/s-2001-17613

Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., … Hoff, J. (2007). *Aerobic High-Intensity Intervals Improve VO2max More Than Moderate Training. Medicine & Science in Sports & Exercise, 39(4),* 665–671. doi:10.1249/mss.0b013e3180304570

Hill, A. V., & Lupton, H. (1923). *Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. QJM, os-16(62),* 135–171. doi:10.1093/qjmed/os-16.62.135

Holloszy J. O. (1967). *Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. The Journal of biological chemistry, 242(9),* 2278–2282.

Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., & Coyle, E. F. (1994). *High efficiency of type I muscle fibers improves performance. International journal of sports medicine, 15(3),* 152–157. https://doi.org/10.1055/s-2007-1021038

Hurley, B. F., Hagberg, J. M., Allen, W. K., Seals, D. R., Young, J. C., Cuddihee, R. W., & Holloszy, J. O. (1984). *Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. Journal of Applied Physiology, 56(5),* 1260–1264. doi:10.1152/jappl.1984.56.5.1260

Iannetta, D., de Almeida Azevedo, R., Keir, D. A., & Murias, J. M. (2019). *Establishing the $\dot{V}O_2$ versus constant-work-rate relationship from ramp-incremental exercise: simple strategies for an unsolved problem. Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 127(6),* 1519–1527. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00508.2019

Ivy, J. L., Withers, R. T., Van Handel, P. J., Elger, D. H., & Costill, D. L. (1980). *Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology, 48(3),* 523–527. https://doi.org/10.1152/jappl.1980.48.3.523

Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., & Hawley, J. A. (2000). *The bioenergetics of world class cycling. Journal of Science and Medicine in Sport, 3(4), 414–433.* doi:10.1016/s1440-2440(00)80008-0

Jobson, S. A., Hopker, J. G., Korff, T., & Passfield, L. (2012). *Gross efficiency and cycling performance: a brief review. Journal of Science and Cycling, 1(1),* 3-8.

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). *Endurance exercise performance: the physiology of champions. The Journal of Physiology, 586(1),* 35–44. doi:10.1113/jphysiol.2007.143834

Karlsen, A., Racinais, S., Jensen, M. V., Nørgaard, S. J., Bonne, T., & Nybo, L. (2015*). Heat acclimatization does not improve VO2max or cycling performance in a cool climate in trained cyclists. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 25 Suppl 1,* 269–276. https://doi.org/10.1111/sms.12409

Keiser, S., Flück, D., Hüppin, F., Stravs, A., Hilty, M. P., & Lundby, C. (2015). *Heat training increases exercise capacity in hot but not in temperate conditions: a mechanistic counter-balanced cross-over study. American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology, ajpheart.00138.2015.* doi:10.1152/ajpheart.00138.2015

Keller, M. F., Harrison, M. L., & Lalande, S. (2020). *Impact of Menstrual Blood Loss and Oral Contraceptive Use on Oxygen-carrying Capacity. Medicine and science in sports and exercise, 52(6),* 1414–1419. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002252

Lee, B. J., Miller, A., James, R. S., & Thake, C. D. (2016). *Cross Acclimation between Heat and Hypoxia: Heat Acclimation Improves Cellular Tolerance and Exercise Performance in Acute Normobaric Hypoxia. Frontiers in physiology, 7,* 78. https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00078

Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2002). *Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. Journal of Sports Sciences, 20(12), 1001–1008.* doi:10.1080/026404102321011760

Levine, B. D. (1993). *Regulation of central blood volume and cardiac filling in endurance athletes. Medicine & Science in Sports & Exercise, 25(6), 727-732.* doi:10.1249/00005768-199306000-00013

Lorenzo, S., Halliwill, J. R., Sawka, M. N., & Minson, C. T. (2010). *Heat acclimation improves exercise performance. Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 109(4),* 1140–1147. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00495.2010

Losnegard, T., Skarli, S., Hansen, J., Roterud, S., Svendsen, I. S., R Rønnestad, B., & Paulsen, G. (2021). *Is Rating of Perceived Exertion a Valuable Tool for Monitoring Exercise Intensity During Steady-State Conditions in Elite Endurance*

Athletes?. International journal of sports physiology and performance, 1–7. Advance online publication. https://doi.org/10.1123/ijspp.2020-0866

Lucía, A., Joyos, H., & Chicharro, J. L. (2000). *Physiological Response to Professional Road Cycling: Climbers vs. Time Trialists. International Journal of Sports Medicine, 21(7),* 505–512. doi:10.1055/s-2000-7420

Lundby, C., & Robach, P. (2015). *Performance Enhancement: What Are the Physiological Limits? Physiology, 30(4),* 282–292. doi:10.1152/physiol.00052.2014

Lundby, C., & Robach, P. (2016). *Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes?. Experimental physiology, 101(7),* 783–788. https://doi.org/10.1113/EP085579

Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017b). *Biology of VO2 max: looking under the physiology lamp. Acta physiologica (Oxford, England), 220(2),* 218–228. https://doi.org/10.1111/apha.12827

Lundby, C., Montero, D., Gehrig, S., Andersson Hall, U., Kaiser, P., Boushel, R., Meinild Lundby, A. K., Kirk, N., Valdivieso, P., Flück, M., Secher, N. H., Edin, F., Hein, T., & Madsen, K. (2017a). *Physiological, biochemical, anthropometric, and biomechanical influences on exercise economy in humans. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 27(12),* 1627–1637. https://doi.org/10.1111/sms.12849

Magel, J. K., & Andersen, K. L. (1969). *Pulmonary diffusing capacity and cardiac output in young trained Norwegian swimmers and untrained subjects. Medicine & Science in Sports & Exercise, 1(3),* 131-139. doi:10.1249/00005768-196909000-00006

Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2010). *Dehydration and rehydration in competative sport. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 20,* 40–47. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01207.x

McKenzie, D. C. (2012). *Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. British Journal of Sports Medicine, 46(6),* 381–384. doi:10.1136/bjsports-2011-090824

McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K., & Hicks, K. M. (2020). *The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 50(10),* 1813–1827. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3

Mier, C. M., Domenick, M. A., Turner, N. S., & Wilmore, J. H. (1996). *Changes in stroke volume and maximal aerobic capacity with increased blood volume in men women. Journal of Applied Physiology, 80(4*), 1180–1186. doi:10.1152/jappl.1996.80.4.1180

Mikkelsen, C. J., Junge, N., Piil, J. F., Morris, N. B., Oberholzer, L., Siebenmann, C., Lundby, C., & Nybo, L. (2019). *Prolonged Heat Acclimation and Aerobic Performance in Endurance Trained Athletes. Frontiers in physiology, 10,* 1372. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01372

Moe, I. T., Hoven, H., Hetland, E. V., Rognmo, Ø., & Slørdahl, S. A. (2005). *Endothelial function in highly endurance-trained and sedentary, healthy young women. Vascular Medicine, 10(2),* 97–102. doi:10.1191/1358863x05vm592oa

Mogensen, M., Bagger, M., Pedersen, P. K., Fernström, M., & Sahlin, K. (2006*). Cycling efficiency in humans is related to low UCP3 content and to type I fibres but not to mitochondrial efficiency. The Journal of physiology, 571(Pt 3),* 669–681. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.101691

Mondal, H., & Budh, D. P. (2020). *Hematocrit. In StatPearls.* StatPearls Publishing.

Montero, D., & Lundby, C. (2018). *Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. Comprehensive Physiology,* 149–164. doi:10.1002/cphy.c180004

Montero, D., Breenfeldt-Andersen, A., Oberholzer, L., Haider, T., Goetze, J. P., Meinild-Lundby, A.-K., & Lundby, C. (2017). *Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 312(6), R894–R902.* doi:10.1152/ajpregu.00012.2017

Mortensen, S. P., Dawson, E. A., Yoshiga, C. C., Dalsgaard, M. K., Damsgaard, R., Secher, N. H., & González-Alonso, J. (2005). *Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. The Journal of Physiology, 566(1),* 273–285. doi:10.1113/jphysiol.2005.086025

Mørkeberg, J., Belhage, B., & Damsgaard, R. (2008). *Changes in Blood Values in Elite Cyclist. International Journal of Sports Medicine, 30(02), 130–138.* doi:10.1055/s-2008-1038842

Nybo, L., Rasmussen, P., & Sawka, M. N. (2014). *Performance in the heat-physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. Comprehensive Physiology, 4(2),* 657–689. https://doi.org/10.1002/cphy.c130012

Oberholzer, L., Siebenmann, C., Mikkelsen, C. J., Junge, N., Piil, J. F., Morris, N. B., … Lundby, C. (2019). *Hematological Adaptations to Prolonged Heat Acclimation in Endurance-Trained Males. Frontiers in Physiology, 10.* doi:10.3389/fphys.2019.01379

Pate, R., Sparling, P., Wilson, G., Cureton, K., & Miller, B. (1987*). Cardiorespiratory and Metabolic Responses to Submaximal and Maximal Exercise in Elite Women Distance*

Runners. International Journal of Sports Medicine, 08(S 2), S91–S95.* doi:10.1055/s-2008-1025712

Patterson, M. J., Stocks, J. M., & Taylor, N. A. (2004). *Sustained and generalized extracellular fluid expansion following heat acclimation. The Journal of physiology, 559(Pt 1),* 327–334. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.063289

Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S., & Landry, G. (1989). *Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO2 max. Journal of Applied Physiology, 66(6),* 2491–2495. doi:10.1152/jappl.1989.66.6.2491

Robach, P., Hansen, J., Pichon, A., Meinild Lundby, A. K., Dandanell, S., Slettaløkken Falch, G., Hammarström, D., Pesta, D. H., Siebenmann, C., Keiser, S., Kérivel, P., Whist, J. E., Rønnestad, B. R., & Lundby, C. (2018). *Hypobaric live high-train low does not improve aerobic performance more than live low-train low in cross-country skiers. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 28(6),* 1636–1652. https://doi.org/10.1111/sms.13075

Rusko H. (1987). *The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. Journal of sports sciences, 5(3),* 273–286. https://doi.org/10.1080/02640418708729782

Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2013). *Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 24(4),* 603–612. doi:10.1111/sms.12104

Rønnestad, B. R., Hamarsland, H., Hansen, J., Holen, E., Montero, D., Whist, J. E., & Lundby, C. (2021). *Five weeks of heat training increases haemoglobin mass in elite cyclists. Experimental physiology, 106(1),* 316–327. https://doi.org/10.1113/EP088544

Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). *Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 21(2),* 250–259. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x

Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Ellefsen, S. (2014). *Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 24(1),* 34–42. https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Stenslokken, L., Joyner, M. J., & Lundby, C. (2019). *Case studies in Physiology: temporal changes in determinants of aerobic performance in*

individual going from alpine skier to world champion time trial cyclist. Journal of Applied Physiology. doi:10.1152/japplphysiol.00798.2018

Schmidt, W., & Prommer, N. (2010). *Impact of alterations in total hemoglobin mass on VO2max. Exercise and sport sciences reviews, 38(2),* 68–75. https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3181d4957a

Siconolfi, S. F., Cullinane, E. M., Carleton, R. A., & Thompson, P. D. (1982). *Assessing VO2max in epidemiologic studies: modification of the Astrand-Rhyming test. Medicine and science in sports and exercise, 14(5),* 335–338.

Siebenmann, C., Cathomen, A., Hug, M., Keiser, S., Lundby, A. K., Hilty, M. P., Goetze, J. P., Rasmussen, P., & Lundby, C. (2015). *Hemoglobin mass and intravascular volume kinetics during and after exposure to 3,454-m altitude. Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 119(10),* 1194–1201. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01121.2014

Siebenmann, C., Keiser, S., Robach, P., & Lundby, C. (2017). *CORP: The assessment of total hemoglobin mass by carbon monoxide rebreathing. Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985), 123(3),* 645–654. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00185.2017

Steinhaus, L. A., Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Emmerson, R. Y., Johnson, S. C., Shearer, D. E., … Bonekat, W. H. (1988). *Cardio-respiratory fitness of young and older active and sedentary men. British Journal of Sports Medicine, 22(4), 163–166.* doi:10.1136/bjsm.22.4.163

Strasser, B. (2018). *Survival of the fittest VO sub 2 sub max a key predictor of longevity . Frontiers in Bioscience, 23(8), 1505–1516.* doi:10.2741/4657

Støren, Ø., Rønnestad, B. R., Sunde, A., Hansen, J., Ellefsen, S., & Helgerud, J. (2014). *A Time-Saving Method to Assess Power Output at Lactate Threshold in Well-Trained and Elite Cyclists. Journal of Strength and Conditioning Research, 28(3), 622–629.* doi:10.1519/jsc.0b013e3182a73e70

Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). *Maximal Strength Training Improves Cycling Economy in Competitive Cyclists. Journal of Strength and Conditioning Research, 24(8), 2157–2165.* doi:10.1519/jsc.0b013e3181aeb16a

Tesch, P. A. (1985). *Exercise Performance and beta-blockade. Sports Medicine, 2(6), 389–412.* doi:10.2165/00007256-198502060-00002

Tokmakidis, S. P., Léger, L. A., & Pilianidis, T. C. (1998). *Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. European journal of applied physiology and occupational physiology, 77(4),* 333–342. https://doi.org/10.1007/s004210050342

Toner, M. M., Drolet, L. L., & Pandolf, K. B. (1986). *Perceptual and physiological responses during exercise in cool and cold water. Perceptual and motor skills, 62(1),* 211–220. https://doi.org/10.2466/pms.1986.62.1.211

Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). *Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO2max and cycling economy in female cyclists. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 26(4),* 384–396. https://doi.org/10.1111/sms.12468

Vincent, J.-L. (2008). *Understanding cardiac output. Critical Care, 12(4), 174.* doi:10.1186/cc6975

Wang, E., Solli, G., Nyberg, S., Hoff, J., & Helgerud, J. (2012). *Stroke Volume Does not Plateau in Female Endurance Athletes. International Journal of Sports Medicine, 33(09), 734–739.* doi:10.1055/s-0031-1301315

Warburton, D. E., Gledhill, N., Jamnik, V. K., Krip, B., & Card, N. (1999). *Induced hypervolemia, cardiac function, VO2max, and performance of elite cyclists. Medicine and science in sports and exercise, 31(6),* 800–808. https://doi.org/10.1097/00005768-199906000-00007

Wickham, K. A., Wallace, P. J., & Cheung, S. S. (2021). *Sex differences in the physiological adaptations to heat acclimation: a state-of-the-art review. European journal of applied physiology, 121(2),* 353–367. https://doi.org/10.1007/s00421-020-04550-y

Woorons, X., Mollard, P., Lamberto, C., Letournel, M., & Richalet, J.-P. (2005). *Effect of Acute Hypoxia on Maximal Exercise in Trained and Sedentary Women. Medicine & Science in Sports & Exercise, 37(1),* 147–154. doi:10.1249/01.mss.0000150020.25153.34

Åstrand P. O., Rodahl K., Dahl H. A. & Strømme S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology. Physiological bases of exercise. (4).* Human Kinetics, s. 279-282.

Vedlegg

Vedlegg 1: Informasjonsskriv med samtykkeskjema

Vil du delta i forskningsprosjektet:

"Sykkelforskning - høydetrening vs. varmetrening og kontroll, samt effekt av fibertypesammensetning på akutte effekter av intervalløkter og effekten av styrketrening hos syklister"

Dette er et spørsmål til deg om å delta i dette forskningsprosjekt som består av tre delprosjekter; 1) sammenligne effektene av høydetrening med varmetrening på blodvariabler, muskelbiologiske trekk som mengden og funksjonen til mitokondriene, sentrale fysiologiske variabler for utholdenhetsprestasjon og utholdenhetsprestasjon etter 5 uker med trening, 2) studere effekten av muskelfibertypesammensetning på effektene av styrketrening på de samme fysiologiske variablene undersøkt i del 1, 3) studere betydningen av muskelfibertypesammensetning på akutt tid over 90% av maksimalt oksygenopptak ved tre ulike intervalløkter med samme snittbelastning. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål
I tidligere studier ser det ut til at 5 uker med varmedrakttrening kan øke hemoglobinmasse og ulike fysiologiske variabler som kan være med på å forbedre utholdenhetsprestasjon. Økt hemoglobinmasse og utholdenhetsprestasjon er også observert etter 4 uker med høydetrening. Imidlertid er det økonomisk kostnadskrevende og praktisk vanskelig å gjennomføre høydetrening. Effektene av varmetrening og høydetrening har tidligere ikke blitt sammenlignet. Formålet med delprosjekt 1 er derfor å sammenligne effekten av 5 uker med varmedrakttrening med 4 uker med høydetrening, samt inklusjon av en kontrollgruppe, på blodvariabler som hemoglobinmasse, muskelbiologiske trekk og utholdenhetsvariabler. Styrketrening er et treningsgrep som noen opplever løfter deres sykkelprestasjon. Imidlertid vet vi ikke om fibertypesammensetning kan være med på å påvirke responsen til styrketreningen. I delprosjekt 2 benytter vi mikrobiopsien som tas til slutt i delprosjekt 1 til å bestemme muskelfibertypesammensetning og da ønsker vi 20 personer (spredt fra alle gruppene i delprosjekt 1) som starter med styrketrening, mens vi ønsker 20 personer (spredt fra alle gruppene i delprosjekt 1) som bare fortsetter vanlig trening. Delprosjekt 2 avsluttes etter 12 uker med slutt-testing i februar (samme testbatteri som i delprosjekt 1, bortsett fra mikrobiopsier). I delprosjekt 3 er målet å studere om muskelfibertypesammensetningen påvirker hvilken intervallform som akutt gir lengst tid over 90% av maksimalt oksygenopptak. Flere studier tyder på at til lenger tid over 90% av maksimalt oksygenopptak man har i en intervalløkt til bedre treningseffekt. Vi ønsker derfor å sammenligne tre ulike intervallformer; 1) kortintervaller, 2) lengre drag med litt variasjon i intensitet og 3) lengre drag med jevn intensitet (se figur 2).

Dataene fra prosjektet skal inngå i to masteroppgaver. I delprosjekt 1 gjennomfører alle tre gruppene mikrobiopsier, testing av styrke/muskelmasse, utholdenhet og blodvariabler før og etter treningsperioden. Videre vil blodvariabler bli målt underveis i treningsperioden. All trening skal loggføres i utlevert treningsdagbok. Alle testene for den enkelte blir gjennomført på samme sted, under tilnærmet like forhold for alle forsøkspersonene og innenfor samme tidsrom på døgnet (± 1 timer) for hver person. All testing vil skje ved Høgskolen i Innlandet sitt idrettsfysiologiske testlaboratorium på Lillehammer. Vi ønsker derfor 45 syklister som vil ta del i dette prosjektet, der 15 stk. skal gjennomføre normal trening + 5 ukentlige restitusjonsøkter med varmedrakt i lavlandet, 15 stk. skal bo og trene på 3500 m.o.h. på Jungfraujoch Forskningsstasjon i Sveits og trener som normalt der (inkludert 5 ukentlige restitusjonsøkter), mens kontrollgruppene består av 15 stk. som skal bo og trene som normalt i lavlandet uten varmestimulus, men inkludere restitusjonsøktene.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?
Høgskolen i Innlandet er ansvarlig for prosjektet.

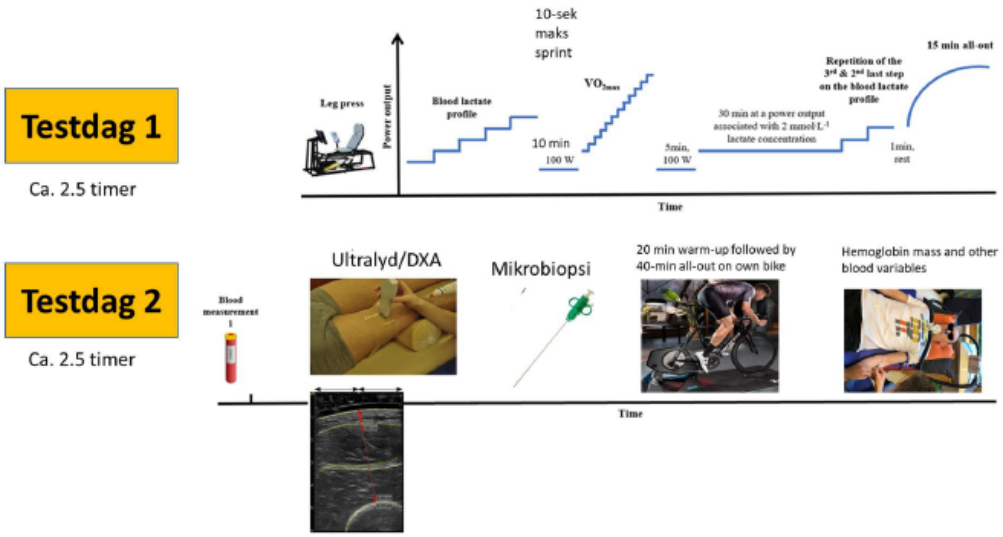
Hvorfor får du spørsmål om å delta?
I prosjektet ønsker vi totalt 45 godt trente syklister (trent 7 timer eller mer utholdenhet per uke de siste 6 månedene før prosjektstart og maksimalt oksygenopptak over 65 mL/min/kg for menn og over 58 mL/min/kg for kvinner, i alderen 18-45 år fordelt på de 3 ulike gruppene. Forespørselen sendes til aktuelle trenere og utøvere på Innlandet/Østlandet/Sørlandet.

Hva innebærer det for deg å delta?
Alle som skal være med i delprosjekt 1 må i prosjektperioden fokusere på en treningsintensitet som er på lav og moderat intensitet (rundt terskelintensitet). Videre vil konsekvensene av å bli med i prosjektet avhenge av hvilken gruppe du deltar i. Hvis du velger å delta i varmedraktgruppen innebærer det at du i en periode på 5 uker gjennomfører 5 restitusjonsøkter i uka (som oftest på ettermiddag) med varmedrakt på ca. 45% av terskelwatten (4

mmol/L blodlaktatkonsentrasjon) og en varighet på 50 min. Minimum de tre første varmeøktene skal gjennomføres i samarbeid med prosjektmedarbeidere, for å sikre riktig gjennomføring av øktene. Deretter kan økter gjennomføres på egen hånd, men det er ønskelig med flest mulig varmeøkter under veiledning. Hvis du under varmeøkta opplever ubehag på grunn av overopphetningså tar du av deg varmedrakta og kjøler den deg ned. Se eget skriv om gjennomføring av varmeøkt i slutten av infoskrivet. Ved øktslutt ønsker vi en rektal temperatur på rundt 38.5°C, noe som er normal temperatur ved avsluttet hardøkt innendørs. Hvis det ellers oppstår ubehagelige og bekymringsfulle symptomer i forbindelse med varmetrening skal du straks kontakte Carsten Lundby mob: +45 21 60 96 07 eller Bent Rønnnestad mob: 951 69 656. Høydegruppa skal bo (2 og 2 sammen på hvert rom) og trene på en forskningsstasjon (Jungfraujoch) i Sveits på 3500 m.o.h. og to prosjektmedarbeidere vil være også være der under hele oppholdet. Reise, mat og opphold vil være dekket av prosjektet. For å øke kunnskapen om tilpasningene til høydetrening skal høydegruppen måle hemoglobinmasse og gjennomføre en laktatprofil en gang i uken under høydeoppholdet.

Kontrollgruppa skal gjennomføre restitusjonsøkt uten varmedrakt på egenhånd. Alle gruppene testes på to påfølgende testdager før (uke 43 og 44) og etter treningsperioden (starten av desember) på styrke- og utholdenhetsvariabler, samt blodvariabler og muskelbiologiske trekk). På den påfølgende testdag 2 gjennomføres det først måling av kroppsmassesammensetning/ultralyd på låret etterfulgt av én mikrobiopsi på lårets utside før man gjennomfører en 40 min all-out sykkeltest på egen sykkel montert på en Tacx Neo 2 sykkelrulle (se figur 1 for hovedtrekkene på testdag 1 og 2). Noen vil kunne synes at blodprøver og mikrobiopsier er ubehagelig. I forbindelse med muskelbiopsitaking vil man typisk bli litt støl i muskelen 1-2 dager i etterkant. I sjeldne tilfeller vil muskelbiopsitaking kunne føre til tydelig arrdannelse eller at følelsen i huden omkring inngangspunktet forsvinner for en lengre periode, i ytterst sjeldne tilfeller på permanent basis. Biopsitaking er forbundet med en viss infeksjonsfare. Risikoen for disse komplikasjonene er svært små ved bruk av prosedyrene som benyttes i dette prosjektet. Du vil få klare instrukser om hvordan du skal behandle såret i etterkant av prøvetagningen. De fysiologiske testene innebærer hard fysisk anstrengelse over en periode og oppleves som ubehag som kan sammenliknes med en hard treningsøkt. Siste to dager før test skal det ikke gjennomføres hard trening. I tillegg til de fysiske testene vil vi, for å studere nærmere hvordan blodvariabler påvirkes av treningen undersøker vi blodvariabler før og etter treningsperioden starter, samt 3 ganger underveis i treningsperioden. Blodvariablene undersøkes hovedsakelig via karbonmonoksid-gjenpustingsmetoden for måling av hemoglobinmasse, blodvolum og plasmavolum.

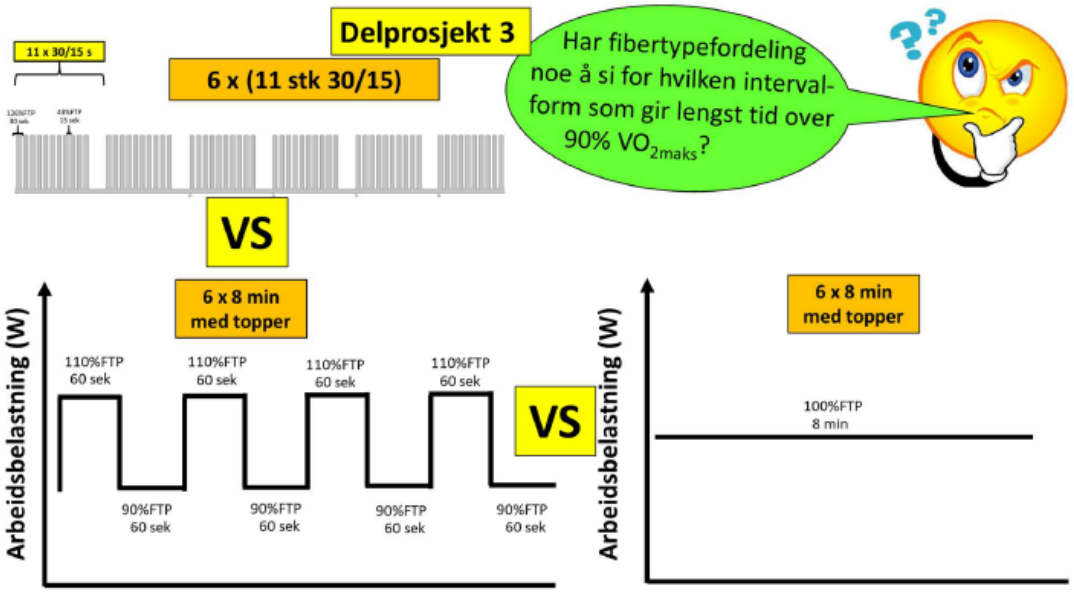
All trening skal loggføres i utlevert treningsdagbok. Alle testresultat og treningsdata blir registrert elektronisk. Alle testene for den enkelte blir gjennomført på samme sted, under tilnærmet like forhold for alle forsøkspersonene og innenfor samme tidsrom på døgnet (± 1 timer) for hver person. All testing vil skje ved Høgskolen i Innlandet sitt idrettsfysiologiske testlaboratorium på Lillehammer. Forsøkspersonene i alle gruppene under delprosjekt 1 skal daglig innta 100 mg jerntilskudd i intervensjonsperioden. Dette gir risiko for mage/tarmbivirkninger, oftest i beskjeden grad og i form av diare, forstoppelse eller magesmerter og kan ha en viss negativ innvirkning på trening og livskvalitet.



Figur 1: Hovedelementene i testen for utholdenhetsprestasjon på testdag 1 og 2.

I delprosjekt 2 skal styrkegruppa gjennomføre 2 styrkeøkter i uken i 12 uker. Hver økt består av 4 øvelser på beina (knebøy, beinpress, hoftefleksjon og tåhev), 3 serier og mellom 4 og 10 repetisjoner. Det blir utlevert styrketreningsdagbok der dere skriver inn belastningen under hver økt. Både kontroll- og styrkegruppen kan gjennomføre utholdenhetstrening som vanlig uten restriksjoner (bare notere dette i treningsdagboken). Delprosjekt 2 avsluttes i februar med samme testbatteri som i delprosjekt 1, bortsett fra mikrobiopsier). For å delta i styrkegruppen i delprosjekt 2 kan du ikke ha trent styrketrening de siste 4 ukene for delprosjekt 2 starter.

Delprosjekt 3 består av 3 ulike intervalløkter (som har samme snittwatt) som gjennomføres på 3 påfølgende dager i starten på januar (se figur 2 for nærmere beskrivelse). Under arbeidsintervallene måles oksygenopptaket kontinuerlig, men ikke under pausene mellom intervallene. Intervallene gjennomføres på egen sykkel koplet til Tacx Neo 2 rulle og verdiene fra slutt-test i delprosjekt 1 benyttes for å beregne watt i de ulike intervallene.



Figur 2: Hovedelementene i delprosjekt 3.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykke tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle opplysninger om deg vil da bli anonymisert. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

Vi vil kun bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket. Det er bare medlemmer i prosjektgruppa som får tilgang på disse dataene. Navnet og kontaktopplysningene dine vil erstattes med en kode som lagres på egen navneliste adskilt fra øvrige data, samt at biomaterialet er innelåst. Det er kun anonyme testresultater som publiseres, slik at du vil ikke kunne gjenkjennes i publikasjon. De biologiske prøvene som tas av deg skal analyseres rett etter de er innsamlet og destrueres senest etter 2 mnd. Ved å delta i prosjektet, samtykker du også til at kodet muskelbiopsimaterial kan overføres til Syddansk Universitet (Danmark) der det skal analyseres for bl.a. mitokondrie volumdensitet som ledd i forskningssamarbeid og publisering. Koden som knytter deg til dine personidentifiserbare opplysninger vil ikke bli utlevert.

Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?

Prosjektgruppa skal arbeidet videre med de innsamlede dataene etter at masteroppgavene er levert slik at selve prosjektet skal i sin helhet avsluttes 30.08.2027. Da skal datamaterialet anonymiseres.

Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- få slettet personopplysninger om deg,
- få utlevert en kopi av dine prøveresultater og personopplysninger (dataportabilitet), og
- å sende klage til personvernombudet eller Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?
Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.
På oppdrag fra Høgskolen i Innlandet har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Hvor kan jeg finne ut mer?
Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Høgskolen i Innlandet ved professor Bent Rønnnestad (bent.ronnestad@inn.no, Tel: 61 28 81 93) eller professor Carsten Lundby (carsten.lundby@inn.no, Tel 61 28 81 96)
- Høgskolen i Innlandets kontaktperson for personvern i forskning: Anne S. Lofthus, anne.lofthus@inn.no, telefon: 61288277
- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS, på epost (personvernombudet@nsd.no) eller telefon: 55582117.

Med vennlig hilsen

Carsten Lundby	Bent Rønnestad
Prosjektansvarlig, forsker	Prosjektmedarbeider, forsker

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet "*Sykkelforskning - høydetrening vs. varmetrening og kontroll, samt effekt av fibertypesammensetning på akutte effekter av intervalløkter og effekten av styrketrening hos syklister*", og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til å ha lest og forstått hva prosjektet innebærer og mine rettigheter.
Jeg samtykker til:

- ☐ å delta i delprosjekt 1 med fysiologisk testing på Høgskolen i Innlandet, Lillehammer.
- ☐ å delta i delprosjekt 1 og 2 med fysiologisk testing på Høgskolen i Innlandet, Lillehammer.
- ☐ å delta i delprosjekt 1 og 3 med fysiologisk testing på Høgskolen i Innlandet, Lillehammer
- ☐ å delta i delprosjekt 1, 2 og 3 med fysiologisk testing på Høgskolen i Innlandet, Lillehammer.

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet, ca. 30.07.2027 og at kodet muskelbiopsimaterial kan overføres til Syddansk Universitet (Danmark).

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

Retningslinjer for gjennomføring av varmedraktøkt

Bekledning for 50 minutters økt i romtemperatur på rundt 20°C er i rekkefølge fra innerst til ytterst på kroppen: sykkelshorts, ullstillongs, ulltrøye, det tette laget på ben og overkropp, lue og til slutt primaloft/varm jakke. Anbefaler også plastikkpose på føttene for å samle opp svetten og spare gulvet og skoene.
1. 10 første min på 50-55% av FTP (terskelintensitet). Deretter 40 min på 40-50% av FTP (hvis store problemer med å holde watten bør den reduseres)
2. Hvis man ved øktslutt har Borg $\leq$ 10, skal belastningen økes med 25 watt til neste økt. Hvis man ved øktslutt har Borg $\geq$ 15, skal belastningen reduseres med 20 W til neste økt. Borg skala får du utlevert.
3. Rektal temperatur rett etter økta bør være rundt 38,5-38.8°C; måles via termometer (dette er vanlig temperatur etter en hardøkt inne).
4. Det skal drikkes 0.5 L vann under økta.

5. Du bør svette mellom 0.8 og 2 L vann i løpet av økta (dette undersøker du ved å veie deg naken før økta og tørke av deg svette før du veier deg rett etter økta (husk å innta nøyaktig 0.5 L vann, slik at vi tar hensyn til dette når vi beregner svetteraten). Svetteraten vil øke etter 4-6 varmeøkter.
6. Under alle varmeøktene skal det noteres hjertefrekvens, varmefølelse og Borg skår - etter 5, 10, 20, 30, 40 og 50 minutter i utlevert skjema.
7. Minimum 25 minutter og maksimum 30 minutter etter alle varmeøkter er ferdig skal det noteres ned en øktskår (0-10) for å beskrive hvor belastende økta var: 0 – hvile, 1 – veldig, veldig lett, 2 – lett, 3 – moderat, 4 – noe hardt, 5 – hardt, 6 til 7 – veldig hardt, 8 -, 9 -, 10 – maksimal.
8. Etter økta husk å drikk ekstra mye væske, gjerne melk, helt til du tisser normal lys urin.
9. Prøv å få den ønskede svetteraten og rektal temperatur via riktig bekledning/romtemperatur og ikke via økt watt – «få riktig stimuli på så lav watt som mulig»
10. Vær oppmerksom på at noen få graders temperaturøkning i rommet kan gjøre økta mye tyngre og watten må da reduseres.
11. Hvis noen under varmeøkta opplever ubehag på grunn av overopphetning, så tar du av varmedrakta og kjøler den ned. Hvis det ellers oppstår ubehagelige og bekymringsfulle symptomer i forbindelse med varmetrening skal du straks kontakte Carsten Lundby mob: +45 216 09 607 eller Bent Rønnestad mob: 951 69 656.

Vedlegg 2: Treningsdagbok

Dato	Dag	Startklokkeslett	Aktivitet	Intensitetssone [tt:mm] I1 (<55%FTP) (<68% HF@FTP)	I2 (56-75%FTP) (69-83% HF@FTP)	I3 (76-90%FTP) (<84-94% HF@FTP)	I4 (91-105%FTP) (95-105% HF@FTP)	I5 (106-120%FTP) (>106% HF@FTP)	Styrke Type	Tid	Øktskår [1-10]	Kommentar
13.04.2015	mandag	16:00	Sykkel	00:50							2 - Lett	Restitusjonsøkt ifbm. Varmeprosjektet
14.04.2015	tirsdag	15:00	Sykkel	00:30	00:10	00:10	00:30				7 - Meget hardt	6 x 5 min I4 intervaller
15.04.2015	onsdag	17:00	Sykkel	01:00	01:00							
17.04.2015	fredag	12:00	Sykkel	01:30	00:20	00:40					5 - Hardt	
18.04.2015	lørdag	10:00	Styrke						maks	01:00	4 -	Styrke i håkons hall
18.04.2015	lørdag	16:00	Løping	01:00							2 - Lett	
19.10.2020	mandag											
20.10.2020	tirsdag											
21.10.2020	onsdag											
22.10.2020	torsdag											
23.10.2020	fredag											
24.10.2020	lørdag											
25.10.2020	søndag											
26.10.2020	mandag											
27.10.2020	tirsdag											
28.10.2020	onsdag											
29.10.2020	torsdag											
30.10.2020	fredag											
31.10.2020	lørdag											
01.11.2020	søndag											
02.11.2020	mandag											
03.11.2020	tirsdag											
04.11.2020	onsdag											
05.11.2020	torsdag											
06.11.2020	fredag											
07.11.2020	lørdag											
08.11.2020	søndag											
09.11.2020	mandag											
10.11.2020	tirsdag											
11.11.2020	onsdag											
12.11.2020	torsdag											
13.11.2020	fredag											
14.11.2020	lørdag											
15.11.2020	søndag											

Vedlegg 3: Skjema for registrering av varmeøkter

Navn:									Watt snitt (under økta)			Hjertefrekvens under økta								Temperatur følelse under økta							Borg skår under økta							Øktskår (15 min etter økta	Kommentar
					(inkl. 0,5 L drikke)																														
Økt nr	Dato	Romtemp	Vekt før	Vekt etter	Total svette	rektal temp før økt	rektal temp etter økt	Varighet på økt (min)	Watt 0-10 min	10-30 min	30-50 min	snittpuls 0-5 min	5-10 min	10-15 min	10-15 min	15-20 min	20-30 min	30-40 min	40-50 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	40 min	50 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	40 min	50 min		
1					0,5																														
2					0,5																														
3					0,5																														
4					0,5																														
5					0,5																														
6					0,5																														
7					0,5																														
8					0,5																														
9					0,5																														
10					0,5																														
11					0,5																														
12					0,5																														
13					0,5																														
14					0,5																														
15					0,5																														
16					0,5																														
17					0,5																														
18					0,5																														
19					0,5																														
20					0,5																														
21					0,5																														
22					0,5																														
23					0,5																														
24					0,5																														
25					0,5																														
26					0,5																														
27					0,5																														
28					0,5																														
29					0,5																														
30					0,5																														