

Fakultet for helse- og sosialvitenskap

Vetle Sælen

Masteroppgave

Prestasjon i sliten tilstand skiller elitesyklister fra godt trente syklister

Performance in a fatigued state distinguishes elite cyclists from well-trained cyclists

Master i treningsfysiologi

Mai 2023

Forord

Kjære leser!

Velkommen til i min masteroppgave. Hvis du leser dette, betyr det enten at du leser av sympati, at du leser under tvang eller at du sannsynligvis har kommet feil.

Uansett er det utelukkende positivt at du har kommet så langt. Er du fortsatt med? Bra! Jeg vil gjerne bruke oppmerksomheten til å takke for mine fem år på Høgskolen i Innlandet og veilederen min Carsten Lundby for god veiledning gjennom alle tre forsøkene på å stable på beina et masterprosjekt. Tusen takk til Bent Rønnestad som gav meg nye muligheter når høydeprosjektet ikke ble gjennomført (tror aldri det skal lykkes for høydeprosjektet). Og ikke minst en stor takk til Joar Hansen som gav meg muligheten på labben andre året på bacheloren, selv om det irriterer meg litt at det «bare» ble 193 langtidstester i bachelor og masterprosjekt.

Takk til bachelor studentene Hennie, Leif, Marius og Olve for hjelp til å gjennomføre testingen på prosjektet. Og takk til alle deltakerne som stilte opp. Takk til gjengen på Montenegro for mye kaffe og ivrig utdeling av anmerkninger.

En stor takk til Kristoffer Schultz Solum for en eksepsjonell evne til å notere tall, og bidra med en ekstrem positivitet gjennom hele prosessen.

En ekstra stor takk må rettes til Margit Dahl Sørensen for en imponerende evne til å holde kustus og for deling av visdom, som for eksempel: «ta deg sammen, Sælen» og «nå må du jobbe». Dette hadde jeg aldri blitt ferdig med uten deg.

Shoutout til Jacob for gyros.

Vetle Sælen, kl. 00:54

15.05.2023

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag	4
1 Teori.....	5
1.1 Maksimalt oksygenopptak	5
1.1.2 Blodets volum og sammensetning	7
1.1.4 Perifere begrensninger.....	8
1.2 Utnyttelsesgrad	9
1.3 Arbeidsøkonomi	10
1.4 Durability	11
2 Introduksjon	12
2.1 Problemstilling.....	14
2.2 Hypotese	14
3 Metode	15
3.1 Testdag.....	16
3.2 Langtidstest sykkel	16
3.2.1 Laktatprofil.....	17
3.2.2 10- sekunders sprint test	17
3.2.3 Test av maksimalt oksygenopptak.....	17
3.2.4 30 minutter ved 2 mmol·L ⁻¹ [La ⁻] og repeterte laktatprofildrag	18
3.2.5 15 minutters prestasjonstest.....	18
3.3 Måling av hb _{masse}	18
3.4 Statistikk	19
4 Resultat	20
4.1 Studiens premisser	20
4.2 Langtidstest.....	20
4.3 Hb _{masse}	21
4.4 Frakoblingseffekt	22
4.5	23
5 Diskusjon	25
5.1 Maksimalt oksygenopptak	25
5.2 Utnyttelsesgrad	25
5.3 Arbeidsøkonomi	26
5.4 Frakoblingseffekt og prestasjon i sliten tilstand	26
5.5 Høyeste aerobe effektutvikling og 15-minutters prestasjonstest.....	28
5.6 Praktiske vurderinger.....	29
5.7 Konklusjon.....	30
6 Referanser:	31

Sammendrag

Formål: Formålet med denne studien var å undersøke prestasjonsbestemmende faktorer og prestasjonsforskjeller for elitesyklister og godt trente syklister, i uthvilt og sliten tilstand, når maksimalt oksygenopptak ($\dot{V}O_{2maks}$) er lik.

Metode: 12 mannlige elitesyklister ble rekruttert til denne studien ($\dot{V}O_{2maks} = 76.8 \pm 6.1$ mL·min⁻¹·kg⁻¹). Hvor de gjennomførte sykkeltest og måling av hemoglobinmasse (hb_{masse}). En kontrollgruppe på 12 syklister ble matchet opp mot elitesyklistene med mål om lik $\dot{V}O_{2maks}$ (hhv. 76.7 ± 3.0 mL·min⁻¹·kg⁻¹). Testingen ble gjennomført innenfor 14 dager (n = 22) i desember og 3 dager i januar (n = 2).

Resultat: Elitegruppen var bedre enn kontrollgruppen i gjennomsnittlig effekt under 15-minutters prestasjonstest (hhv. 352 ± 32 og 319 ± 37 W, $p = 0.029$). Det var forskjell i hb_{masse} per kg kroppsvekt (per kg), til fordel for elitegruppen (hhv. 14.6 ± 0.9 og 13.6 ± 1.2 g, $p = 0.020$). Det var korrelasjon mellom gjennomsnittlig effekt under 15-minutters prestasjonstesten og hb_{masse} per kg ($p = 0.036$). Elitegruppen hadde høyere effekt per kg og utnyttelsesgrad ved 4 mmol·L⁻¹ blodlaktatkonsentrasjon ($[La^-]$) enn kontrollgruppen (hhv. 4.67 ± 0.42 og 4.33 ± 0.35 W, $p = 0.044$; og hhv. 82.5 ± 4.1 og 78.3 ± 4.1 %, $p = 0.022$). Hb_{masse} korrelerte med effekt 4 mmol·L⁻¹ $[La^-]$ ($p = 0.007$), og tendens til korrelasjon med utnyttelsesgrad 4 mmol·L⁻¹ $[La^-]$ ($p = 0.087$). Det var også korrelasjon mellom effekt 4 mmol·L⁻¹ $[La^-]$ og effekt ved 15-minutters prestasjonstest ($p < 0.001$).

Konklusjon: Den sentrale forskjellen mellom elitesyklistene og kontrollgruppen i denne studien var prestasjon under 15-minutters prestasjonstest. Elitesyklistene var og bedre enn kontrollgruppen i utnyttelsesgrad og hb_{masse} per kg, som korrelerer godt med forbedret effekt per kg ved 4 mmol·L⁻¹ $[La^-]$.

1 Teori

Det er flere ulike faktorer som påvirker sykkelprestasjon. Faktorene kan deles inn i fire forskjellige kategorier: mekaniske faktorer, miljøfaktorer, psykologiske faktorer og fysiologiske faktorer (Jeukendrup et al., 2000). Mekaniske faktorer er faktorene som berører sykkel og utstyr. Miljøfaktorer er faktorene som angår miljøet prestasjonen skal gjennomføres i. De psykologiske faktorene omhandler det mentale. De fysiologiske faktorene er de indre faktorene som påvirker prestasjonen. Teorien i denne oppgaven omhandler de fysiologiske faktorene som påvirker sykkelprestasjonen, og har til hensikt å belyse forskjellene mellom elitesyklister og utrente. Jeukendrup et al. (2000) definerer disse faktorene som maksimalt oksygenopptak ($\dot{V}O_{2\text{maks}}$), utnyttelsesgrad, og arbeidsøkonomi. Et annet konsept som også har blitt diskutert i nyere tid, er durability. Dette omhandler hvordan de fysiologiske prestasjonsfaktorene blir påvirket av langvarig arbeid (Maunder et al., 2021). Syklister kan deles inn i fire kategorier: trente, godt trente, elite og verdensklasse syklister (Jeukendrup et al., 2000). De deles inn i disse fire kategoriene basert på ulike trening og konkurranse parameter og ulike fysiologiske variabler. Trening og konkurranse parameterne omhandler treningsfrekvens, treningsvarighet, treningsbakgrunn og konkurranse hyppighet under sesong. Teorien skal omhandle de mest sentrale faktorene for utholdenhetsprestasjon og hvordan de påvirker prestasjonsevnen til eliteutøvere.

1.1 Maksimalt oksygenopptak

$\dot{V}O_{2\text{maks}}$ defineres som høyeste rate oksygen kroppen kan ta opp og bruke under maksimalt arbeid (Bassett & Howley, 2000). Det brukes som et mål på kardiorespiratorisk status, og settes ofte i sammenheng med utholdenhetsprestasjon og for å demonstrere endring i treningseffekt (Bassett & Howley, 2000). Det antas at det finnes en øvre grense for eliteutøvere på 83-85 mL·min⁻¹·kg⁻¹, på tross av dette har det blitt observert høyere målinger (Lundby & Robach, 2015; Rønnestad et al., 2019). Ifølge Joyner og Coyle (2008) har eliteutøvere mellom 50-100 % høyere $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ enn utrente, og kvinner har ca. 10 % lavere $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ enn menn. Ifølge Bassett og Howley (2000) finnes det flere sentrale faktorer som begrenser $\dot{V}O_{2\text{maks}}$: hjertets maksimale minuttvolum, lungenes diffusjonskapasitet, blodets volum og sammensetning. Det nevnes også perifere begrensninger som: musklene, blodårene og mitokondriene (Bassett & Howley, 2000; Rønnestad & Tønnesen, 2018).

1.1.1 Hjertets maksimale minuttvolum

Den første sentrale faktoren Basset og Howley (2000) viser til, er hjertets maksimale minuttvolum (MV_{maks}). MV_{maks} defineres som den totale mengden blod som pumpes ut av venstre hjertekammer, og videre rundt i kroppen per minutt ved maksimalt arbeid (King & Lowery, 2022). Bakgrunnen for denne mekanismen er å sikre blod til hjernen og andre vitale organer. MV_{maks} varierer mellom individer (Lundby & Robach, 2015). Utrente mannlige personer kan ha rundt 20 liter per minutt, mens hos eliteutøvere observeres det over dobbelt så mye (Lundby & Robach, 2015; Ogawa et al., 1992). Det er estimert at mellom 70-75 % av begrensningene for $\dot{V}O_{2maks}$ bestemmes av MV_{maks} (Skattebo et al., 2020). Det reguleres både av hjertefrekvens (HF) og slag volum (SV). HF defineres som hvor mange ganger hjertet slår per minutt og SV defineres som total mengde blodvolum som pumpes ut under ventrikulær kontraksjon (King & Lowery, 2022). Det finnes ingen forskjell i maksimal HF mellom trente og utrente individer og det påvirkes i liten grad av trening (Lundby & Robach, 2015). Derfor øker om MV_{maks} om maksimalt SV forbedres.

Eliteutøvere har et høyere slagvolum enn utrente. Bakgrunnen for dette kan være at hjertet har større volum hos eliteutøvere. Venstre hjertekammer er større både målt i masse og volum (Lundby & Robach, 2015; Scharhag et al., 2002). Det er og observert at hjertet til eliteutøvere er mer elastisk enn hos utrente, som kan føre til en større ejsjonsfraksjon (Abergel et al., 2004). Det er vist at et år med intensiv utholdenhetstrening, for utrente, kan øke størrelsen på hjertet til tilsvarende størrelse som eliteutøveres. Derimot ble det ikke observert tilsvarende slagvolum (Arbab-Zadeh et al., 2014). Dette kan tyde på at det kreves flere år med intensiv trening for å oppnå den samme elastisiteten på hjertet som observeres hos eliteutøvere.

Lundby og Robach (2015) viser til at det er usikkert om utrente med trening alene kan oppnå de samme karakteristikkene for hjertet som eliteutøvere. Det er ikke observert hvor mye genetiske faktorer spiller inn. Hjertet til eliteutøvere er karakterisert som at det både er større og at det arbeider mer effektivt enn hos utrente (Lundby & Robach, 2015). Dette kan være med å forklare hvorfor det observeres større maksimalt SV og MV_{maks} hos eliteutøvere enn hos utrente.

1.1.2 Blodets volum og sammensetning

En annen grunn til at det observeres større maksimalt SV og MV_{maks} hos eliteutøvere, kan komme av den neste faktoren Basset og Howley (2000) viser til, blodets volum og sammensetning. Blodet er en av faktorene som påvirkes mest av utholdenhetstrening (Montero & Lundby, 2018). Blodet består i hovedsak av blodplasma og røde blodceller, som begge påvirkes av utholdenhetstrening (Montero & Lundby, 2018). Blodplasmavolumet påvirkes akutt etter trening (Sawka et al., 2000), hvor det kan forbli forhøyet med inntil 10 % de neste 24-48 timene. Volumet av røde blodceller vil ta opptil flere uker å påvirke (Bonne et al., 2014; Montero & Lundby, 2018; Skattebo et al., 2020). Volumet av røde blodceller er faktoren i blodet som korrelerer best med $\dot{V}O_{2maks}$. Dette er som følge av at økning i plasmavolum alene ikke gir økning i $\dot{V}O_{2maks}$, til tross for at blodvolumet og slagvolumet øker. Dette observeres av Keiser et al. (2015) hvor en injeksjon med albumin gav 15.7 % økning i plasmavolum og 18.2 % økning i maksimalt minuttvolum, men ikke endring i $\dot{V}O_{2maks}$.

Det observeres opptil 40 % høyere volum av røde blodceller hos eliteutøvere enn hos utrente (Montero & Lundby, 2018). Dette øker $\dot{V}O_{2maks}$ på to forskjellige måter, gjennom å øke MV_{maks} , og gjennom å gi blodet økt oksygenbærende kapasitet. Blodets oksygenbærende kapasitet bestemmes av den totale massen hemoglobin (Hb_{masse}). Hemoglobinetts oppgave er å frakte oksygen rundt i kroppen og 1 gram kan binde 1.34 mL oksygen (Heinicke et al., 2001). Det er observert at 1 gram økning i Hb_{masse} kan øke $\dot{V}O_{2maks}$ med $3 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, gitt at hemoglobinmolekylene jobber på maksimal kapasitet (Schmidt & Prommer, 2008). Hb_{masse} korrelerer med utholdenhetsprestasjon (Lundby & Robach, 2015). Hos eliteutøvere observeres det ~50 % mer Hb_{masse} per kg kroppsvekt (per kg) enn hos utrente (hhv. 14-15 g og 10-11 g; (Heinicke et al., 2001). Det er derimot usikkert om det er mulig å trene seg til mengdene Hb_{masse} per kg som observeres hos eliteutøvere, da det aldri har blitt observert at personer går fra utrent til eliteutøveres verdier. Det er observert at en tidligere olympisk medaljevinner i langrenn hadde over 60 % mer Hb_{masse} per kg enn utrente personer, fire år etter endt karriere (Lundby & Robach, 2015). Dette kan tyde på at genetikk spiller en stor rolle for hvor mye Hb_{masse} som kan oppnås.

Det er og bevist prestasjonsfremmende effekt hos friske individer når Hb_{masse} ble påvirket gjennom endring i erythropoietin nivåene i kroppen (Lundby et al., 2008; Lundby & Robach, 2015).

1.1.3 Lungenes diffusjonskapasitet

Den siste faktoren Basset og Howley (2000) viser til er lungenes diffusjonskapasitet. Ved normal aktivitet på havnivå vil normale personer ha oksygenbindingsrate på rundt 95 % fra lungene til blodet. Dette gjelder også ved maksimalt arbeid (Bassett & Howley, 2000). Dette betyr at for normale personer, vil ikke lungenes diffusjonskapasitet være en begrensende faktor. Det kan derimot være begrensende for eliteutøvere. Eliteutøvere opplever lavere oksygenbindingsrate i blodet enn utrente, og dette kan være på grunn av større MV_{maks} (Dempsey et al., 1984). Tiden oksygenet har til å binde seg til blodet reduseres under maksimalt arbeid hos eliteutøvere, fordi MV_{maks} er over dobbelt så stort som hos utrente. Dette gjør oksygenbindingraten dårligere. Dårligere bindingsrate kan overkommes for eliteutøvere ved å puste inn luft med høyere oksygeninnhold, men det vil ikke utgjøre forskjell for utrente personer (Powers et al., 1989). Dette beviser at diffusjonskapasitet kan være en begrensende faktor for eliteutøvere.

1.1.4 Perifere begrensninger

Ifølge Basset og Howley (2000) vil de perifere begrensningene til $\dot{V}O_{2maks}$ være muskulaturen, blodårene og mitokondriene. Dette er tilpasningene som skjer i og rundt arbeidene muskel. For utrente og eliteutøvere vil den oksidative kapasiteten til musklene overstige evnen til å levere oksygen ved maksimalt arbeid (Boushel & Saltin, 2013). Likevel skjer det store fysiologiske tilpasninger etter få uker med trening, hvor kapillærtettheten kan øke med 10-20 % og mitokondrietettheten øke med over 40 % (Granata et al., 2018). Dette vil gjøre at eliteutøvere har mer effektiv bloddistribusjon enn hva utrente har, da vedkommende vil ha 3-4 ganger flere kapillærer per muskelfiber og flere mitokondrier som kan produsere energi (Rønnestad & Tønnesen, 2018).

Dette vil ha liten påvirkning på $\dot{V}O_{2maks}$ grunnet at de største begrensningene er sentralt. I studier hvor det er gjennomført flebotomi protokoll observeres det økninger på 7-10 % i $\dot{V}O_{2maks}$ etter 6 uker med utholdenhetstrening, men ingen endring etter flebotomi (Bonne et al., 2014; Montero et al., 2015). På den andre siden observerer Skattebo et al. (2020) økning i $\dot{V}O_{2maks}$ selv etter flebotomi. Her beregnes det at de perifere tilpasningene står for 25-30 % av økningene, mens de sentrale står for 70 % (Skattebo et al., 2020). På grunn av dette kan det

tenkes at de perifere tilpasningene ikke vil ha stor innvirkning på $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ hos eliteutøvere, men kan være viktig for å påvirke de andre faktorene for prestasjon.

1.2 Utnyttelsesgrad

Høy laktatterskel korrelerer sterkt med prestasjon (Lundby & Robach, 2015). Laktatterskel kan defineres som den første økningen observert i blodlaktat over hvileverdier (Yoshida et al., 1987). Den nøyaktige laktatterskelen til hver person varierer, men det representerer balansepunktet mellom produksjon og fjerning av laktat (Støren et al., 2014; van Hall, 2010). Det kan også defineres som hvilken grad av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ personer kan arbeide på over tid (Joyner & Coyle, 2008). Basert på denne definisjonen er det mulig å bruke to forskjellige variabler for å forklare laktatterskelen: prosent av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ eller arbeidsbelastning (Støren et al., 2014). Prosent av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ blir definert som utnyttelsesgraden, og arbeidsbelastning på et gitt laktat defineres som laktatterskel.

Normale friske personer kan opprettholde belastning tilsvarende $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ i 5-7 minutter (Mortensen et al. 2005). Dette betyr at for konkurranser med lenger varighet vil utnyttelsesgrad være avgjørende. Hvor høy utnyttelsesgrad personer kan ha, varierer fra rundt 60 % av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ hos utrente, til 75-90 % av $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ hos eliteutøvere (Lundby & Robach, 2015; Rønnestad et al., 2019). Dette er i hovedsak bestemt av skjelletmuskulens oksidative kapasitet (Joyner & Coyle, 2008). Oksidativ kapasitet kan være dobbelt så høy hos eliteutøvere enn utrente (Joyner & Coyle, 2008; Rønnestad & Tønnesen, 2018). Dette, sammen med høy $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ gjør at eliteutøvere kan ha laktatterskel på over 400 watt (Joyner & Coyle, 2008; Rønnestad et al., 2019). En annen faktor som Coyle (1995) viser til, er evne til å fordele kraftutvikling mellom flere muskelfibre. Elitesyklister vil aktivere 20-25 % flere muskelfibre under 1 times sykkeltest. Dette vil føre til bedre fordeling av arbeidsbelastningen, og mindre stress på hver muskelfiber. Som et resultat aktiveres flere mitokondrier som vil øke oksidativ kapasitet og sørge for mindre produksjon av laktat (Coyle, 1999; Joyner & Coyle, 2008).

Ofte observeres det ikke store endringer i utnyttelsesgrad etter treningsintervensjoner, til tross for at det observeres perifere tilpasninger og endringer i laktatterskel (Coyle, 1999). Dette kan komme av flere grunner. De to bestemmende faktorene for laktatterskel defineres som $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ og arbeidsøkonomi (di Prampero et al., 1986). Mange studier som observerer økning i

laktatterskel, uten å vise økning i utnyttingsgrad, observerer økning i $\dot{V}O_{2maks}$. Resultatet blir at økning i $\dot{V}O_{2maks}$ gir økt i laktatterskel, mens utnyttelsesgrad holder seg konstant (Rønnestad et al., 2014; Rønnestad et al., 2016). Det finnes også studier som observerer økning i laktatterskel og utnyttelsesgrad uten økning i $\dot{V}O_{2maks}$ (Almquist et al., 2022).

På bakgrunn av dette antas det at utnyttelsesgrad kan endres over flere år med trening, men ikke over kort tid. I en finsk studie på unge langrennsløpere, hvor de fulgte utviklingen deres over 4 år, observerte de at utnyttelsesgrad økte fra 73 til 78 % (Rusko, 1987).

1.3 Arbeidsøkonomi

Den siste prestasjonsbestemmende faktoren er arbeidsøkonomi (Jeukendrup et al., 2000). Arbeidsøkonomi kan defineres som oksygenforbruket som kreves på en gitt submaksimal intensitet (Saunders et al., 2004). Arbeidsøkonomi korrelerer sterkt med prestasjon, og varierer stort mellom utøvere med lik $\dot{V}O_{2maks}$ (Horowitz et al., 1994; Rønnestad & Mujika, 2014). På bakgrunn av dette kan det tenkes at forbedring i arbeidsøkonomi kan gi forbedret prestasjon. I sykkel blir ofte arbeidsøkonomi definert som gross efficiency (GE). GE kan defineres som forholdet mellom produsert effekt og totalt energiforbruk (Hopker et al., 2009). Coast et al. (1986) bruker formelen: $(\text{arbeid gjennomført} - \text{energiforbruk}) \times 100$ for å regne ut GE. Dette tallet representerer prosenten av den totale energiomsetningen som brukes for å gjennomføre arbeidet. Hos elitesyklister kan denne prosentandelen ligge mellom 18.3 % og 22.6 % (Coyle et al., 1992). En studie av Hopker et al. (2009) undersøkte hvordan GE endret seg gjennom sesong for elitesyklister. De gjennomførte tester fem ganger gjennom et år. Her ble det observert høyere GE under konkurransesesong, og ingen forskjell før og etter. Dette kan indikere at GE vil endre seg med trening (Hopker, et al., 2009). Det er også observert forbedring i GE fra 21.2 til 23.1 % gjennom 7 år med trening for en profesjonell syklist (Coyle, 2005). Denne syklisten er senere blitt tatt for dopingbruk, og det er usikkert hvor mye som kan legges i resultatene (Coyle, 2005; Coyle, 2013). På den andre siden er det observert lignende funn hos andre verdensklassesyklister (Santalla et al., 2009). Det er også vist at en tidligere verdensrekordholder på maraton forbedret arbeidsøkonomien med 15 % over en 9 års periode, selv om $\dot{V}O_{2maks}$ var tilnærmet konstant (Jones, 2006). Dette tyder på at arbeidsøkonomi er trenbar og kan endres over tid, men det kreves flere år med trening. Jeukendrup et al. (2000) anslår gjennom en datasimulering at 1 % forbedring i GE kan sørge

for 63 sekunders forbedring under en 40 kilometers tempo for godt trente syklister (gjennomsnittlig effekt over 300 watt ved en 40 kilometers test).

1.4 Durability

Durability defineres som evnen til å unngå reduksjon av fysiologiske karakteristikk under langvarig arbeid (Maunder et al., 2021). En annen måte å forklare det på kan være evnen til å opprettholde prestasjon etter langvarig fysisk arbeid. Dette er et relativt nytt konsept som er relevant for mange idrettsutøvere som ønsker best mulig prestasjon. Det er spesielt gjeldene for idretter hvor konkurransene har lang varighet som for eksempel maraton, sykling og langrenn. Foreløpig finnes det ingen beste praksis for å måle dette, men det er brukt flere forskjellige metoder. En metode er å regne ut frakoblingseffekt mellom det interne og eksterne arbeidet. Smyth et al. (2022) undersøkte hvordan durability påvirket prestasjon på et maraton. De hentet ut puls og hastighetsdata fra over 83 tusen maratondeltakere. Studien regnet ut hvordan frakoblingseffekt påvirket resultatet. Internt arbeid ble definert som prosent av maksimal HF, og eksternt arbeid definert som relativ hastighet i forhold til estimert kritisk hastighet. Utrengningen ble gjennomført på to forskjellige 5 km segmenter underveis i løpet og ble sammenlignet med hverandre, fra 5-10 km og fra 35-40 km. Deltakerens score på det første segmentet ble definert som 1.0, hvor scoren deretter ble sammenlignet med det siste segmentet. Studien konkluderer med at utøverne med lav frakoblingseffekt er de utøverne som gjennomfører maraton på raskest relativ hastighet. Høy gjennomsnittlig relativ hastighet korrelerer med prestasjon på maraton (Smyth et al., 2022).

En annen måte å måle durability, kan være å måle prestasjon rett etter forlengt arbeid (Mateo-March et al., 2022; Maunder et al., 2021; Muriel et al., 2022; Van Erp et al., 2021). Det kan også tenkes at reduserte absolutte fysiologiske responser, som for eksempel lavere HF eller lavere blodlaktat nivåer, under submaksimal trening etter en treningsperiode kan tyde på forbedring i durability (Maunder et al., 2021).

Betydningen av dette kan være at durability er en viktig egenskap for elitesyklister da de fleste konkurranser avgjøres i trøtt tilstand etter mange timers arbeid.

2 Introduksjon

Det er mange faktorer som påvirker sykkelprestasjon. Jeukendrup et al. (2000) viser til fire forskjellige faktorer: Mekaniske faktorer, miljøfaktorer, psykologiske faktorer og fysiologiske faktorer. De viktigste fysiologiske faktorene er: maksimalt oksygenopptak ($\dot{V}O_{2maks}$), utnyttelsesgrad, og arbeidsøkonomi. De siste årene har et nytt konsept vokst frem: durability. Dette kan forklares som evnen til å opprettholde prestasjonen til tross for langvarig arbeid (Mauder et al., 2021). Jeukendrup et al. (2000) deler inn syklister i fire forskjellige grupper: trente, godt trente, elite og verdensklasse syklister, basert på ulike trening, konkurranse og fysiologiske variabler. De fysiologiske variablene er viktig for utholdenhetsutøvere, fordi de er prestasjonsbestemmende. Denne oppgaven skal omhandle de sentrale faktorene for utholdenhetsprestasjon og hvordan de påvirker prestasjonen til eliteutøvere.

$\dot{V}O_{2maks}$ er en viktig faktor i utholdenhetsidrett fordi det er den høyeste raten oksygen kan tas opp og omsettes i kroppen under maksimalt arbeid, og det setter en øvre grense for prestasjon (Bassett & Howley, 2000). Det antas at eliteutøvere har 50-100 % høyere $\dot{V}O_{2maks}$ enn gjennomsnittlige personer, mens den høyeste verdien målt hos en eliteutøver er $96.7 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Joyner & Coyle, 2008; Rønnestad et al., 2019). Det finnes flere sentrale og perifere faktorer som påvirker $\dot{V}O_{2maks}$. Disse er: hjertets pumpekapasitet, lungenes diffusjonskapasitet, blodets volum og sammensetning, musklene, blodårene og mitokondriene (Bassett & Howley, 2000; Rønnestad & Tønnesen, 2018). De tre første regnes som de sentrale faktorene og de tre siste som perifere faktorer. De sentrale faktorene står for 70-80 % av begrensningen, mens de perifere står for 20-30 % (di Prampero, 2003; Skattebo et al., 2020).

Gjennomsnittlige friske personer kan opprettholde belastninger tilsvarende $\dot{V}O_{2maks}$ i 5-7 minutter (Mortensen et al., 2005). Hvis konkurransen har lengre varighet enn dette, vil laktatterskelen og utnyttelsesgraden være avgjørende. Utnyttelsesgrad kan defineres som graden av $\dot{V}O_{2maks}$ en person kan arbeide på over tid (Joyner & Coyle, 2008). Laktatterskelen kan representere balansepunktet mellom produksjon og fjerning av laktat (Støren et al., 2014; van Hall, 2010). Disse to definisjonene legger grunnlaget for to forskjellige variabler som brukes for å forklare utnyttelsesgraden og laktatterskelen: prosent av $\dot{V}O_{2maks}$ og arbeidsbelastning på et gitt laktat. Det observeres store forskjeller i utnyttelsesgrad og laktatterskel mellom individer. Det kan variere fra 60 % av $\dot{V}O_{2maks}$ hos utrente, og mellom 75-90 % hos eliteutøvere (Lundby & Robach, 2015), og er i hovedsak bestemt av den

oksidative kapasiteten til skjelett muskulatur (Joyner & Coyle, 2008). Forskjellen i oksidativ kapasitet mellom utrente og eliteutøvere, som kan være dobbelt så stor, kombinert med at eliteutøvere kan ha 50-100 % høyere $\dot{V}O_{2maks}$, mulig gjør laktatterskel på over 400 watt (Joyner & Coyle, 2008; Rønnestad et al., 2019).

Arbeidsøkonomi kan defineres som oksygenforbruket som kreves på en gitt submaksimal intensitet (Saunders et al., 2004). Arbeidsøkonomi korrelerer sterkt med prestasjon og sammen med $\dot{V}O_{2maks}$ utgjør det de to viktigste bestemmende faktorene for laktatterskel (di Prampero et al., 1986; Horowitz et al., 1994; Rønnestad & Mujika, 2014). I sykkel blir ofte arbeidsøkonomi definert som GE. GE kan defineres som forholdet mellom produsert effekt og energiforbruk (J. Hopker, Passfield, et al., 2009). Hos elitesyklister kan GE ligge mellom 18 og 22 % (Coyle et al., 1992), og det kan endres gjennom trening, hvor det er observert at arbeidsøkonomi og prestasjon bedres selv uten store endringer i $\dot{V}O_{2maks}$ (Coyle, 2005; Coyle 2013; Hopker, et al., 2009; Jones, 2006; Santalla et al., 2009). GE er en faktor det er viktig å forbedre, da det kan ha stor påvirkning på sykkelprestasjon (Jeukendrup et al., 2000).

For å opprettholde prestasjonen under langvarig konkurranse er det viktig med god durability. Det defineres som evnen til å unngå reduksjon av fysiologiske karakteristikk under langvarig arbeid (Maunder et al., 2021). Dette er et konsept som har blitt belyst av flere i nyere tid og vil være relevant for idretter med lang konkurransetid, som for eksempel sykkel og maraton. Det kan måles på flere måter, for eksempel gjennom å måle frakoblingseffekten mellom det interne og eksterne arbeidet (Smyth et al., 2022), eller å måle prestasjon etter forlenget arbeid (Maunder et al., 2021; Van Erp et al., 2021). Gjennom sistnevnte metode er det observert forskjell mellom world tour syklister og pro tour syklister i endring i maksimal gjennomsnittlig effekt (MMP) etter et gitt relativt arbeid var gjennomført (kj x kg) (Mateo-March et al., 2022; Muriel et al., 2022). Reduserte absolutte fysiologiske responser under submaksimal trening kan tenkes å være et tegn på forbedret durability. Det er enda ikke felles enighet om en god validert metode for å måle dette (Maunder et al., 2021).

Det er flere andre faktorer enn $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ som påvirker utholdenhetsprestasjonen til syklister, selv om mange vil mene det er den viktigste. Målet for denne studien var å undersøke hvilke andre faktorer som påvirker prestasjonen til elitesyklister når $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ er lik, og hvilke faktorer som fører til bedre prestasjon enn kontrollgruppen.

2.1 Problemstilling

Vil det være forskjell mellom elitesyklister og kontrollgruppen på prestasjonsbestemmende fysiologiske variabler, og prestasjon i uthvilt og sliten tilstand, når det ikke er forskjell i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$?

2.2 Hypotese

Elitesyklister vil ha bedre arbeidsøkonomi, utnyttelsesgrad og durability. De vil prestere bedre i sliten tilstand, til tross for at $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ er lik med kontrollgruppen.

3 Metode

Det var totalt 24 frivillige mannlige deltakere i denne studien, både seniorsyklister ($n = 22$) og juniorsyklister ($n = 2$). Deltakerne i elitegruppen er landeveissyklister og ble rekruttert fra Jumbo Visma Development Team, Uno-X Pro Cycling Team og Lillehammer Cykleklubb. Deltakerne i kontrollgruppen matchet $\dot{V}O_{2maks}$, alder, høyde og vekt med elitegruppen (Tabell 1), og ble rekruttert fra NTG Bærum, Kongsvinger og Lillehammer. Deltakerne gjennomførte langtidstest på sykkel og hb_{masse} måling. Testingen ble gjennomført innenfor 14 dager i desember, med unntak av to av deltakerne (èn i elitegruppen og èn i kontroll) som testet med tre dagers mellomrom i januar. Kontrollgruppen gjennomførte hb_{masse} målingen en måned tidligere enn elitegruppen, i forbindelse med et annet prosjekt. Derfor er det tatt utgangspunkt i en annen vekt enn fra langtidstesten i utregning av hb_{masse} per kg for kontrollgruppen. Det er ikke kontrollert for hva deltakerne har trent i forkant av studien. Målet med kontrollgruppen var å undersøke hvilke parametere som skiller elitesyklister fra godt trente syklister.

Tabell 1: Karakteristikk for elitegruppen og kontrollgruppen ved test. Verdier er oppgitt som gjennomsnitt \pm standardavvik. * $p < 0.100$.

	<i>Elitegruppe</i> ($n = 12$)	<i>Kontrollgruppe</i> ($n = 12$)	<i>p</i>
<i>Alder (år)</i>	20.1 ± 1.0	$18.9 \pm 1.9^*$	0.075
<i>Vekt (kg)</i>	70 ± 6	69 ± 7	0.699
<i>Høyde (cm)</i>	181 ± 5.1	181 ± 5.8	0.941
<i>$\dot{V}O_{2maks}$ ($mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)</i>	76.8 ± 4.7	76.7 ± 3.0	0.909

$\dot{V}O_{2maks}$: maksimalt oksygenopptak $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$.

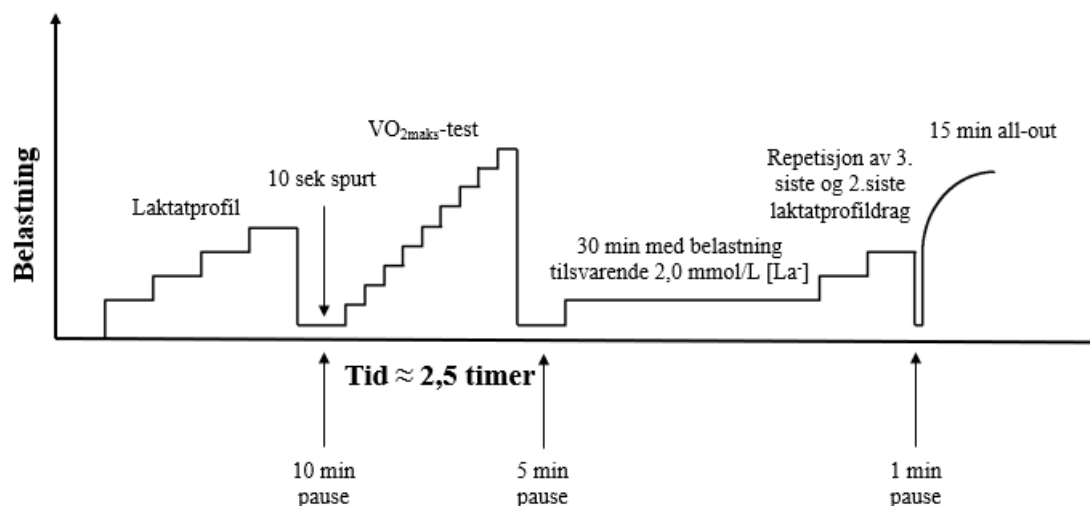
Prosjektet ble godkjent av lokal etisk komite ved Høgskolen i Innlandet, campus Lillehammer, Norge. Deltakerne samtykket til deltakelse i studien i forkant av prosjektet. Prosjektet fulgte retningslinjene i Helsinkideklarasjonen.

3.1 Testdag

Deltakerne brukte en dag på å delta i studien. Alle gjennomførte sykkelprestasjonstest (Figur 1 (n = 24)), og 25 minutter etter testen målt Hb_{masse} med gjenånding av karbonmonoksid i et lukket system (n = 23, én person i kontrollgruppen gjennomførte ikke). I pausen mellom testene fikk deltakerne mulighet til å dusje og spise. Testene ble gjennomført i den rekkefølgen på grunn av at det kan observeres liten reduksjon i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ de 12 påfølgende timene etter hb_{masse} måling. Dette kommer av en lineær sammenheng mellom reduksjon i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ og HbCO konsentrasjon i blodet (Schmidt & Prommer, 2005).

3.2 Langtidstest sykkel

Langtidstest på sykkel ble gjennomført på en elektromagnetisk bremsset sykkelergometer (Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, The Nederland), hvor utøverne selv bestemte sittestilling, krankarm lengde og pedalytpe. Det ble gitt verbal oppmuntring under hele testen for å sikre best mulig resultat. Oversikt over testen kan ses i Figur 1



Figur 1: Illustrasjon av gjennomføringen av langtidstest. $VO_{2\text{maks}}$: maksimalt oksygenopptak; belastning tilsvarende $2,0 \text{ mmol/L [La}^-]$; effekt $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$; 15 min all-out: 15 minutters prestasjonstest.

3.2.1 Laktatprofil

Testen startet med laktatprofil, hvor utøverne startet på 125 watt (W) ved selvestimert terskel <325 W, eller 175 W ved selvestimert terskel >325 W. Hvert 5.5 minutt ble det tatt blodlaktatprøve, gjennomført ved fingerstikk og deretter analysert i Biosen c-line e (EKF diagnostic GmbH, Barleben, Tyskland). Belastningen ble justert opp 50 W til deltaker passerte en grenseverdi på $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ blodlaktatkonsentrasjon ($[\text{La}^-]$), og med 25 W hvert 5.5 min fra $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ til deltaker passerte $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$. Det ble målt $\dot{V}\text{O}_2$ fra 2.5-5 min per drag (6 målinger à 30 sek) med Vyntus CPX mixing chamber (Vyntus CPX, Jaeger-CareFusion, UK). HF og tråkkfrekvens (RPM) ble notert ned hvert 30. sek fra 2.5 til 5 minutter. Opplevd anstrengelse (RPE) ble avgitt etter 5 min, før laktatprøve ble tatt. Laktatprofil var ferdig når deltaker passerte $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$. Terskeeffekt ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ ble beregnet fra relasjon mellom de to siste stegene, ved hjelp av lineær regresjon.

3.2.2 10- sekunders sprint test

Etter laktatprofil ble 10 minutters pause gjennomført, hvor deltaker syklet på effekt tilsvarende 9 i RPE. 5 minutter inn i pausen, gjennomførte deltaker en 10 sekunder sprint test. Sprint testen ble gjennomført sittende med hendene nede på styret. For å standardisere syklet deltaker 30 sekunder under 40 i RPM, etterfulgt av 10- sekunders sprint, hvor oppmuntring og nedtelling ble gitt av testleder underveis.

3.2.3 Test av maksimalt oksygenopptak

10 minutter etter laktatprofil var ferdig startet test av $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$. Testen ble gjennomført med standard protokoll. Startbelastning var 200 W ved selvestimert terskel < 325 W og 250 W ved selvestimert terskel > 325 W. Belastningen økte gradvis under testen, med 25 W økning hvert minutt. Testen varte til deltaker ikke klarte mer, eller ikke opprettholdt RPM > 60. Maksimal HF (HF_{maks}) ble notert ned under test og RPE notert ned ved testens slutt. 1 minutt etter ble det tatt laktatprøve. $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$ ble definert som de 12 høyeste påfølgende 5 sekunders målingene. Gjennomsnittlig effekt de siste 60 sekundene av $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$ testen ble beregnet som høyeste aerobe effektutvikling (W_{maks}). W_{maks} blir i oppgaven definert som prestasjon i uthvilt tilstand.

3.2.4 30 minutter ved $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ og repeterte laktatprofildrag

Etter $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$ testen, gjennomførte deltaker 5 minutters pause med mulighet til å sykle på 9 i RPE. Deretter syklet deltaker 30 min på effekt tilsvarende $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$. Det ble foretatt målinger av HF, RPE og RPM etter minutt: 5, 10, 15, 25 og 29. Fra 30-41 minutter ble 3. og 2. siste draget fra laktatprofil repetert. Dragene ble gjennomført på samme effekt og tilsvarende måte som under laktatprofilen. RPM ble repetert. De repeterte dragene blir definert som submaksimalt arbeid i sliten tilstand i denne oppgaven. Frakoblingseffekt ble beregnet ved å sammenligne prosent endring i HF, $\dot{V}\text{O}_2$, og arbeidsøkonomi fra det 3. siste og 2. siste laktatprofildraget i uthvilt og sliten tilstand. RPE ble beregnet i absolutte tall. Det ble ikke regnet ut kritisk hastighet, ettersom effekt var lik for hver enkelt deltaker i de nevnte laktatprofildragene (Maunder et al., 2021; Smyth et al., 2022).

3.2.5 15 minutters prestasjonstest

Siste del av testen besto av 15-minutters prestasjonstest. Her bestemte deltakerne starbelastning selv og justerte underveis. Målet var å sykle med høyest mulig gjennomsnittlig effekt i 15 minutter. Underveis ble det målt $\dot{V}\text{O}_2$, HF, RPM hvert 30. sekund og gjennomsnittlig effekt per minutt. Etter testslutt oppga deltakeren RPE og 1 minutt etter ble det tatt laktatprøve. Prestasjon i sliten tilstand er beregnet fra denne testen, hvor gjennomsnittlig effekt i 15 minutter defineres som prestasjon og gjennomsnittlig prosent av $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$ defineres som utnyttelsesgrad i sliten tilstand.

Deltakerne fikk kun innta vann de første tre dragene av laktatprofilen, etter dette var næringsinntaket valgfritt. Det ble oppfordret fra testleder underveis til å sørge for tilstrekkelig næringsinntak, slik at testen ble gjennomført på best mulig måte. Vyntus CPX ble automatisk kalibrert for gass, volum og luftfuktighet før start av hver test og gang underveis i testen (etter 15 minutter av 30 minutt).

3.3 Måling av hb_{masse}

Blodprøve fra fingertupp ble gjennomført på høyre hånd etter inntak av 3 dl vann og 15 min stillesitting etter deltaker hadde gjennomført langtidstesten. Disse blodprøvene ble brukt til å måle hematokrit (HCT) og hemoglobinkonsentrasjon i gram per dl (Hb (g/dl)). Blodet ble så

analysert for prosent karboksyhemoglobin (% HbCO) (ABL830 FLEX CO-OX analyser, Radiometer, Copenhagen, Denmark). Hb_{masse} ble deretter målt med gjenpusting av karbonmonoksid.

Deltaker ble koblet på det lukkede pustesystemet (Detalo Performance, Detalo Health, Birkerød, Denmark), og pustet inn oksygen (Oxygen 100 %, AGA, Oslo, Norge) i 1 minutt. Deretter ble det tilført en dose rent karbonmonoksid (Carbon monoxide 100 %, AGA, Oslo, Norge), 1 mL per kg. De påfølgende 6 minuttene lå deltaker stille og pustet inn oksygen og karbonmonoksidblanding. Etter testen var fullført ble resten av karbonmonoksid i systemet målt etter total ekshalasjon. 4 minutter etter gjennomført test ble det på nytt målt %HbCO gjennom et nytt fingerstikk. Hb_{masse} ble beregnet ved hjelp av endring i %HbCO i blodet før og etter gjenpusting av karbonmonoksid.

Det lukkede pustesystemet (Detalo Performance, Detalo Health, Birkerød, Denmark) og rørene ble luftet ut, og hele protokollen ble gjennomført på nytt 5 minutter etter første test. Hb_{masse} ble derfor målt minst to ganger. Gjennomsnittet av duplikatet utgjorde resultatene. Hvis variasjon fra første til andre test varierte med over 3 % ble det gjennomført en tredje test (Elitegruppen = 0 og kontrollgruppen = 1).

3.4 Statistikk

Plotting av data og fremstilling av figurer ble gjennomført i Microsoft Excel 2021 (Microsoft, Redmond, USA), før dataene videre ble analysert i Jamovi 2022 (The jamovi project, Version 2.3.21.0, Software, Sydney, Australia). Alle tall er oppgitt som gjennomsnitt ± standardavvik. Elitegruppen blir nevnt først og kontrollgruppen til slutt. Beregning av p-verdier fra langtidstest og hb_{masse} måling ble gjort med ANOVA med en faktor, hvor gruppe ble brukt som grupperingsvariabel og resultatene ble brukt som avhengig variabel. P-verdi < 0.050 ble ansett som signifikant, og p-verdi < 0.100 ble ansett som tendens. Effektstørrelse (ES) ble beregnet med Cohen's d (Cohen, 1977). ES ble beregnet på alle verdier hentet fra langtidstest og hb_{masse} måling. ES ble definert som: 0.2 - 0.5 → liten effekt, 0.5 - 0.8 → moderat effekt og > 0.8 → stor effekt. Pearson's r ble brukt til å beregne korrelasjonskoeffisienter. Effektstørrelser av korrelasjonskoeffisientene ble definert som r < 0.1 → ubetydelig, 0.1 - 0.3 → liten, 0.3 - 0.4 → moderat, 0.5 - 0.7 → stor, 0.7 - 0.9 → veldig stor, 0.9 → nesten perfekt og 1.0 → perfekt (Hopkins et al., 2009).

4 Resultat

4.1 Studiens premisser

Det var ingen forskjeller mellom elitegruppen og kontrollgruppen i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$, verken relativ (Tabell 1) eller absolutt (hhv. 5375 ± 488 og $5291 \pm 532 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, $p = 0.690$). Det var ingen forskjell mellom gruppene i vekt (Tabell 1) eller høyde (Tabell 1). Det var tendens til forskjell mellom gruppene i alder (Tabell 1)

4.2 Langtidstest

Det var forskjell mellom gruppene i gjennomsnittlig effekt per kg ved 15 min prestasjonstest med stor effektstørrelse i favør elitegruppen (hhv. 5.0 ± 0.3 og $4.6 \pm 0.3 \text{ W}$, $p = 0.007$, $ES = 1.20$). Videre lå elitegruppen på høyere utnyttelsesgrad under 15 minutt prestasjonstest med stor effektstørrelse (Tabell 2). Det var også forskjell mellom gruppene ved effekt per kg ved 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ med moderat effektstørrelse til fordel for elitegruppen (hhv. 4.7 ± 0.4 og $4.3 \pm 0.4 \text{ W}$, $p = 0.044$, $ES = 0.87$). Videre var det også forskjell i utnyttelsesgrad ved 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ med stor effektstørrelse i favør elitegruppen (hhv. 82.5 ± 4.1 og $78.3 \pm 4.1 \%$, $p = 0.022$, $ES = 1.02$). Det var derimot ingen forskjell i W_{maks} per kg mellom gruppene (hhv. 6.7 ± 0.5 og $6.4 \pm 0.4 \text{ W}$, $p = 0.26$, $ES = 0.472$).

Tabell 2: Testvariabler hentet fra langtidsstesten. Alle verdiene er oppgitt som gjennomsnitt \pm standardavvik. Effektstørrelse (ES) er beregnet mellom gruppene. * tendens til forskjell mellom gruppene $p < 0.100$ ** signifikant forskjell mellom gruppene $p < 0.050$

	Elitegruppe (n = 12)	Kontrollgruppe (n = 12)	p	ES
Effekt 4mmol·L⁻¹ [La⁻] (W)	326 \pm 26*	299 \pm 37	0.057	0.83
Utnyttelsesgrad 4mmol·L⁻¹ [La⁻] (%)	82.5 \pm 4.1**	78.3 \pm 4.1	0.022	1.02
$\dot{V}O_{2maks}$ (mL·min⁻¹·kg⁻¹)	76.8 \pm 4.7	76.7 \pm 3.0	0.909	0.03
W_{maks} (W)	465 \pm 38	444 \pm 48	0.250	0.49
Effekt 30 min (W)	265 \pm 22**	240 \pm 35	0.001	0.87
RPE 30 min (6-20)	13.1 \pm 1.2	13 \pm 0.8	0.305	0.09
Effekt 15-min (W)	352 \pm 32**	319 \pm 37	0.029	0.96
Utnyttelsesgrad 15-min (%)	88.7 \pm 3.6**	83.2 \pm 3.4	0.001	1.57

Effekt 4 mmol·L⁻¹ [La⁻]: effekt ved 4 mmol·L⁻¹ blodlaktatkonsentrasjon; utnyttelsesgrad 4 mmol·L⁻¹ [La⁻] l: prosent av $\dot{V}O_{2maks}$; $\dot{V}O_{2maks}$: maksimalt oksygenopptak mL·min⁻¹·kg⁻¹; W_{max}: gjennomsnittlig effekt siste minuttet av $\dot{V}O_{2maks}$ test; RPE: opplevd anstrengelse; Effekt 15-min: gjennomsnittlig effekt ved 15-min prestasjonstest; utnyttelsesgrad 15-min: gjennomsnittlig prosent av $\dot{V}O_{2maks}$ under 15-min prestasjonstest.

4.3 Hb_{masse}

Det var ingen forskjell mellom gruppene i hb_{masse}, men det var moderat effektstørrelse til fordel for elitegruppen (hhv. 1005 \pm 57 og 935 \pm 159 g, $p = 0.194$, ES = 0.59). Det var derimot forskjell i hb_{masse} per kg, med stor effektstørrelse til fordel for elitegruppen (hhv. 14.6 \pm 0.9 og 13.6 \pm 1.2 g, $p = 0.020$, ES = 0.98). Videre var det tendens til forskjell i plasmavolum, med stor effektstørrelse (3773 \pm 635 og 3293 \pm 485 mL, $p = 0.054$, ES = 0.85) og i blodvolum med moderat effektstørrelse (6594 \pm 705 og 5982 \pm 917 mL, $p = 0.090$, ES = 0.75) begge til fordel for elitegruppen.

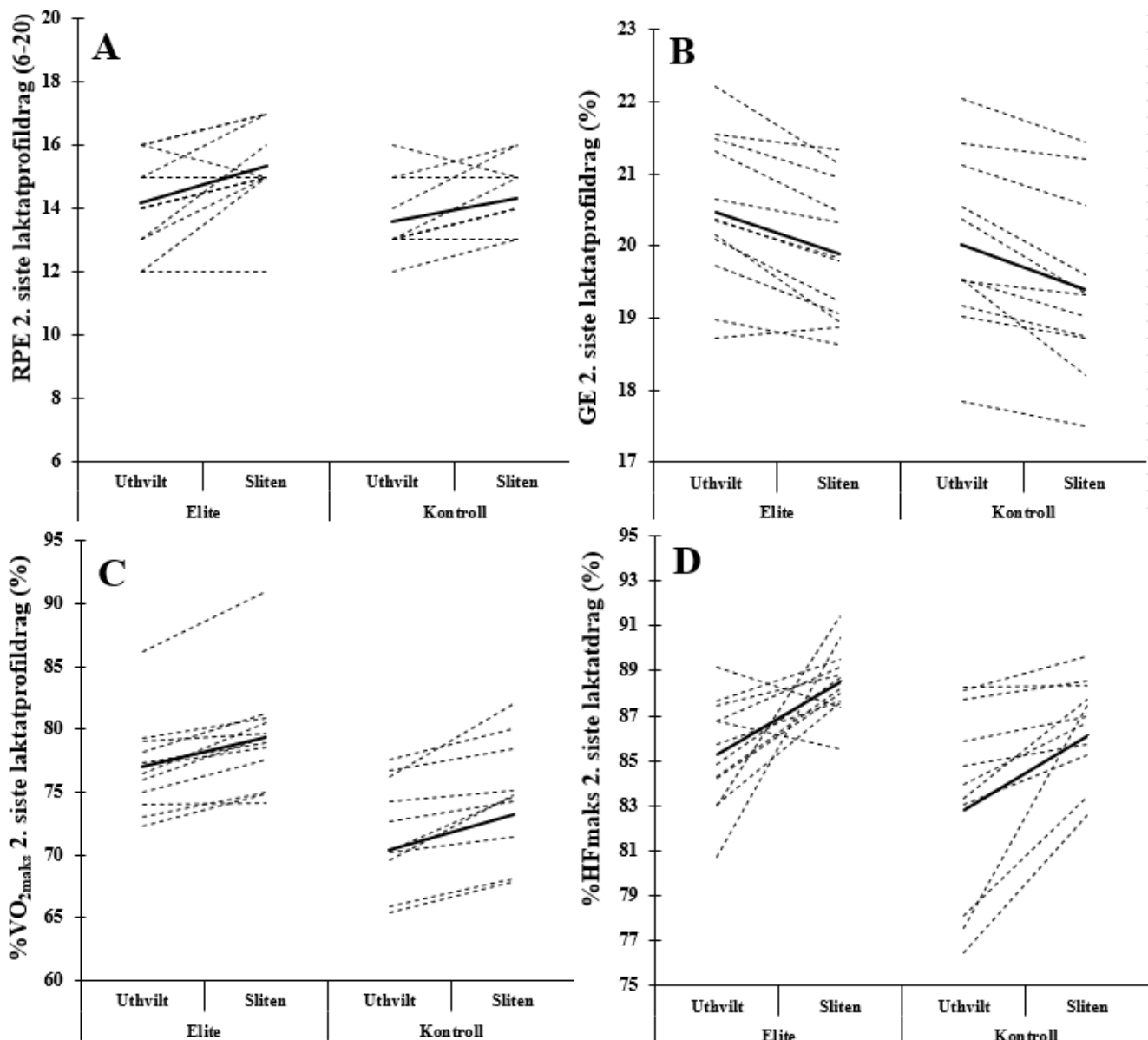
4.4 Frakoblingseffekt

Det ble observert forskjell i gjennomsnittlig prosent av W_{maks} ($\%W_{maks}$) under 15 minutters prestasjonstest med stor effekt til fordel for elitegruppen (hhv. 75.6 ± 3.8 og 71.7 ± 3.0 %, $p = 0.012$, $ES = 1.14$). Det var ingen tendens eller forskjell mellom gruppene i endring gjennomsnittlig prosent av $\dot{V}O_{2maks}$ ($\%\dot{V}O_{2maks}$), gjennomsnittlig prosent av maksimal hjertefrekvens ($\%HF_{maks}$), GE eller RPE (Tabell 3; Figur 2) fra uthvilt til sliten tilstand. Derimot var det moderat effekt til fordel for elitegruppen ($ES = 0.69$) i gjennomsnittlig $\%\dot{V}O_{2maks}$ ved det 3. siste laktatprofildraget.

Tabell 3: Undersøkelse av frakoblingseffekt fra uthvilt til sliten tilstand. Alle tallene er hentet fra det 3. siste laktatprofildraget fra laktatprofil og det repeterte draget. Alle tall er oppgitt som gjennomsnitt \pm standardavvik. Effekstørrelse (ES) er beregnet mellom gruppene. * tendens til forskjell mellom gruppene $p < 0.100$. ** signifikant forskjell mellom gruppene $p < 0.050$.

	Elitegruppe (n = 12)		Kontrollgruppe (n = 12)		ES
	Uthvilt	Sliten	Uthvilt	Sliten	
$\%\dot{V}O_{2maks}$ 3. siste (%)	68.5 ± 5.6	70.2 ± 6.0	59.4 ± 6.6	62.5 ± 7.7	0.69
$\%HF_{maks}$ 3. siste (%)	79.0 ± 4.1	84.6 ± 3.4	75.5 ± 6.7	80.2 ± 4.4	0.22
RPE 3. siste (6-20)	12.8 ± 1.5	13.7 ± 1.6	12.3 ± 1.2	12.7 ± 1.2	0.49
GE 3. siste (%)	20.2 ± 1.1	19.7 ± 1.1	19.8 ± 1.4	19.2 ± 1.5	0.19
Effekt 3. siste (W)	$267 \pm 36^{**}$		227 ± 46		0.96
Effekt 2. siste (W)	$304 \pm 28^{**}$		269 ± 39		1.05

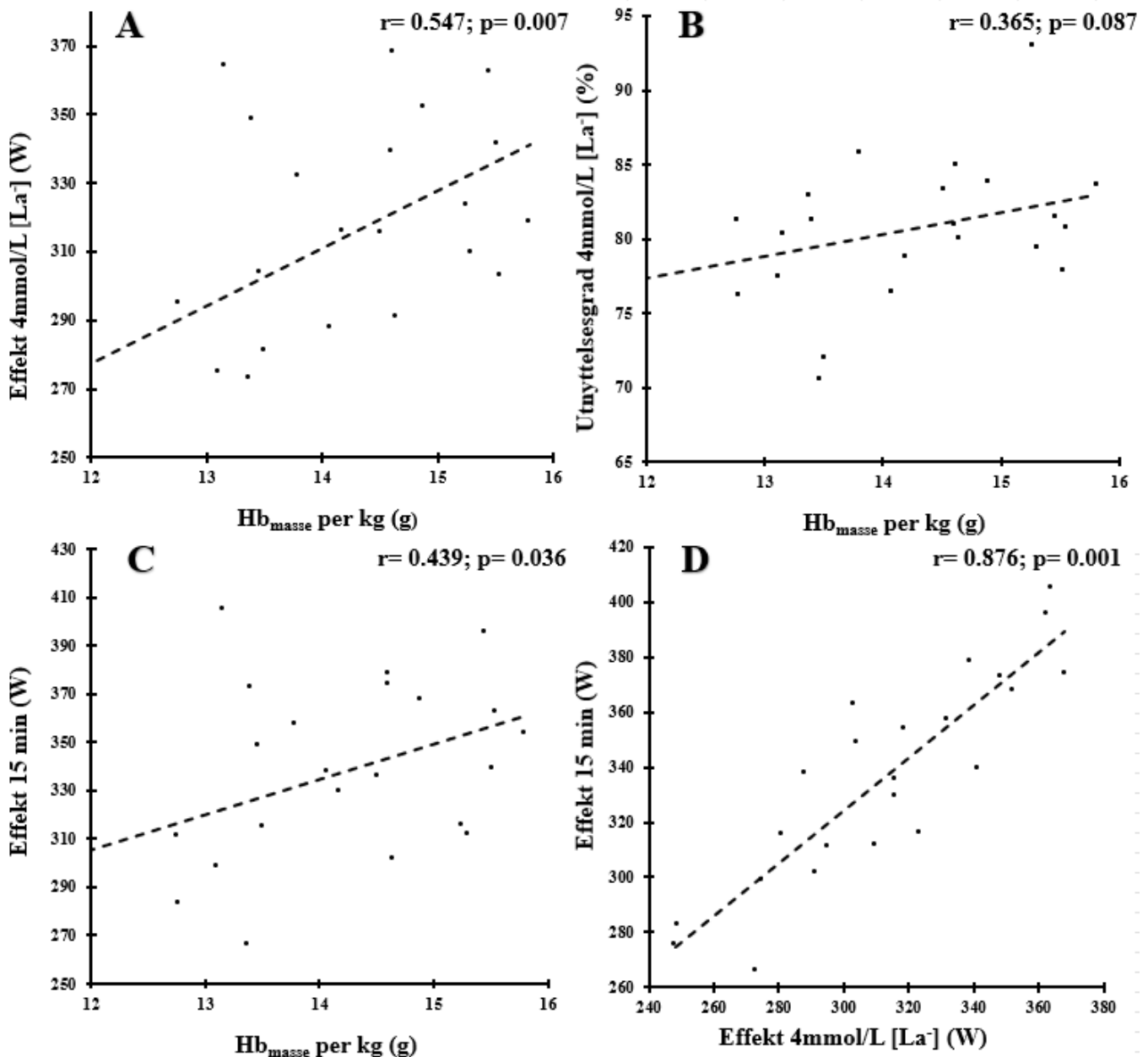
$\%\dot{V}O_{2maks}$: gjennomsnittlig prosent av maksimalt oksygenopptak; $\%HR_{maks}$: gjennomsnittlig prosent av maksimal hjertefrekvens; RPE: opplevd anstrengelse; GE: Arbeidsøkonomi oppgitt som gross efficiency; Effekt 3. og 2. siste: gjennomsnittseffekt deltakerne syklet på det 3. siste og 2. siste laktatdraget.



Figur 2: Fremstilling av frakoblingseffekten fra 2. siste laktatdrag, endring fra uthvilt til sliten tilstand. Stiplede linjer (individuelle) og gjennomsnittlige verdier (heltrukket) for gruppene. A: opplevd anstrengelse; B: arbeidsøkonomi regnet ut som gross efficiency; C: gjennomsnittlig prosent av maksimalt oksygenopptak; D: gjennomsnittlig prosent av maksimal hjerterefrekvens.

4.5 Korrelasjoner

Det var korrelasjon mellom hb_{masse} per kg og effekt ved $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ (Figur 3A). Videre var det korrelasjon mellom hb_{masse} per kg og effekt ved 15-minutters prestasjonstest (Figur 3C). Det var også korrelasjon mellom effekt ved $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ og effekt ved 15-minutters prestasjonstest (Figur 3D). Det var derimot en tendens til korrelasjon mellom hb_{masse} per kg og utnyttelsesgrad ved $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ (Figur 3B).



Figur 3: Korrelasjoner mellom hb_{masse} per kg kroppsvekt og effekt 15 min, effekt 4mmol/L [La⁻] og utnyttelsesgrad ved 4mmol/L [La⁻]. Alle tall er oppgitt i absolutte tall. Begge gruppene slått sammen. Tendens til forskjell mellom gruppene $p < 0.100$, signifikant forskjell mellom gruppene $p < 0.050$. Hb_{masse} per kg: hemoglobinmasse per kg kroppsvekt oppgitt i gram; effekt 15 min: gjennomsnittlig effekt ved 15-minutters prestasjonstest; utnyttelsesgrad 4mmol/L [La⁻]: prosent av $\dot{V}O_{2maks}$ ved 4mmol/L [La⁻].

Det var negativ korrelasjon mellom gjennomsnittlig effekt på 15- minutters prestasjonstest og endring i RPE fra uthvilt til sliten tilstand ($r = -0.480$, $p = 0.018$). Det var derimot ingen korrelasjon mellom gjennomsnittlig effekt ved 15- minutters prestasjonstest og endring i GE, $\%HF_{maks}$ og $\% \dot{V}O_{2maks}$.

5 Diskusjon

Hovedfunnet i denne studien var forskjell i effekt ved 15 min prestasjonstest mellom gruppene, selv om det ikke var forskjell i W_{maks} . Elitegruppen hadde også høyere utnyttelsesgrad i sliten tilstand enn kontrollgruppen. Dette stemmer med hypotesen, med bedre prestasjon for elitegruppen i sliten tilstand. Det var forskjell i effekt per kg ved 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ og tendens til forskjell ved effekt 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$. Elitegruppen hadde også bedre utnyttelsesgrad enn kontrollgruppen. Dette samsvarer med hypotesen, at elitegruppen er bedre på prestasjonsbestemmende variabler. Det var derimot ingen forskjell i arbeidsøkonomi i endring mellom uthvilt og sliten tilstand.

5.1 Maksimalt oksygenopptak

Det var ingen forskjeller mellom gruppene i $\dot{V}O_{2maks}$, verken relativ eller absolutt. Et av premissene for studien var ingen forskjell i denne prestasjonsvariabelen. Det ble derimot observert forskjell i hb_{masse} per kg, og tendens til forskjell i plasma- og blodvolum. Det kan tenkes at disse forskjellene ikke skulle være tilstede når $\dot{V}O_{2maks}$ var lik, på bakgrunn av at hb_{masse} og blodvolum korrelerer godt med $\dot{V}O_{2maks}$ (Lundby et al., 2017). Det ble observert numerisk forskjell i hb_{masse} som teoretisk sett skulle gitt forskjell i $\dot{V}O_{2maks}$ på 210mL, gitt at hemoglobin molekylene jobber på maksimal kapasitet (Schmidt & Prommer, 2008). Forskjellen observeres ikke, verken numerisk eller statistisk. Eliteutøvere har høyere hb_{masse} per kg enn utrente. Hos utrente forventes det å finne rundt 10-11 gram per kg, mens i eliteutøvere kan forvente å finne 14-15 gram per kg (Heinicke et al., 2001; Rønnestad & Tønnesen, 2018). I denne studien har elitegruppen 14.6 gram per kg og kontrollgruppen 13.6 gram hb_{masse} per kg. Elitegruppen ligger innenfor de forventede verdiene for eliteutøvere, mens kontrollgruppen ligger litt lavere (Heinicke et al., 2001; Rønnestad & Tønnesen, 2018).

5.2 Utnyttelsesgrad

Det var forskjell i både utnyttelsesgrad og effekt per kg ved 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$, med stor effektstørrelse til fordel for elitegruppen. Dette kan ha sammenheng med forskjeller observert i hb_{masse} per kg. På bakgrunn av korrelasjon mellom effekt 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ og tendens til korrelasjon mellom utnyttelsesgrad ved 4 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ $[\text{La}^-]$ og hb_{masse} per kg (Figur 3 A; B). Det er også vist fra tidligere studier at økning i hb_{masse} kan bidra til å forbedre submaksimal

prestasjon (Rønnestad et al., 2021; Rønnestad et al., 2022; Thomsen et al., 2007) I studien til Thomsen et al. (2007) syklet deltakerne på samme effekt (80 % av $\dot{V}O_{2maks}$ ved pre) etter 4 og 11 ukers behandling med rekombinant humant erythropoietin, for å stimulere økning i sentrale blodvariabler. Det ble observert fremgang på ~50 % i submaksimal prestasjon (Thomsen et al., 2007). Rønnestad et al. (2021) observerte fremgang i effekt ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ når det ble observert endring i hb_{masse} . Selv om det ikke ble observert forskjell mellom intervensjonsgruppe og kontrollgruppe i Rønnestad et al. (2021), kan det likevel tenkes at endring i hb_{masse} kan utgjøre forskjell, da det er vist at endring i hb_{masse} korrelerer godt med endring i effekt ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ (Rønnestad et al., 2022). På bakgrunn av dette kan det tenkes at forskjell i hb_{masse} per kg kan påvirke effekt ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$. Hb_{masse} er den oksygenbærende delen av blodet, og derfor vil høyere hb_{masse} per kg kunne føre til mer oksygentransport i kroppen (Bassett & Howley, 2000; Montero & Lundby, 2018; Schmidt & Prommer, 2008). Dette kan sørge for mer oksygen til arbeidende muskler, og bedre utnyttelsesgrad som gjør det mulig å arbeide på høyere effekt før laktatproduksjon stiger markant.

5.3 Arbeidsøkonomi

Det var ingen forskjell i endring i arbeidsøkonomi mellom gruppene, i uthvilt eller sliten tilstand. Dette samsvarer ikke med hypotesen, og kan komme av flere årsaker. Denne studien er gjennomført tidlig i treningssesong for testpersonene. På denne tiden kan arbeidsøkonomien være på sitt dårligste gjennom sesongen, da det observeres at det endres med bedre treningsstatus (Hopker, et al., 2009; Losnegard et al., 2013). Med tanke på at arbeidsøkonomi er noe som endres over flere år (Jones, 2006; Santalla et al., 2009), kan det hende at tendens til forskjell i alder ikke er nok til at det vil bli observert forskjell. Det er ikke undersøkt hvor mange år med trening deltakerne har i forkant av denne studien, men det kan tenkes at når alder er relativt lik, vil aktive år med sykkeltraining og være det.

5.4 Frakoblingseffekt og prestasjon i sliten tilstand

Det er tidligere observert at flere sentrale fysiologiske faktorer endres underveis i en lengre lavintensitets arbeidsperiode (Hopker et al., 2017; Rønnestad et al., 2011). Dette kan påvirke prestasjon (Smyth et al., 2022). Derfor kunne det tenkes at det var være forskjeller i fysiologiske endringer mellom gruppene, med tanke på at elitegruppen presterte bedre enn

kontrollgruppen i sliten tilstand. Det observeres ingen endring mellom gruppene, kun moderat effektstørrelse i favør elitegruppen i endring av gjennomsnittlig $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$ i 3. siste draget. Det observeres ingen forskjeller i endring mellom gruppene av $\% HF_{\text{maks}}$ og RPE.

Dette samsvarer ikke med hypotesen, da forventningene var at det ville være mindre endring i elitegruppen enn i kontrollgruppen, fordi elitegruppen presterer bedre i sliten tilstand. Det observeres liten effektstørrelse i endring RPE i favør kontrollgruppen, som kan komme av erfaring med bruk av RPE. Kontrollgruppen har vært deltakere i en studie hvor RPE er jevnlig brukt gjennom intervensjonsperioden, mens flere av deltakerne i elitegruppen hadde liten til ingen erfaring med bruk av RPE. Dette kan ha påvirket resultatene. På den andre siden er det negativ korrelasjon mellom endring i RPE og gjennomsnittlig effekt ved 15 minutters prestasjonstest. Ingen av de andre fysiologiske variablene korrelerer med 15 minutters prestasjonstest. Dette kan tyde på at endring i RPE er et viktig mål i henhold til prestasjon i sliten tilstand. En faktor som kan ha påvirket resultatene er treningsstatus til kontrollgruppen. Som følge av at kontrollgruppen har deltatt i en intervalltreningsstudie, kan det tenkes at de har bedre treningsstatus enn elitegruppen. Det er tidligere vist at intervalltrening kan redusere endring i ulike fysiologiske variabler under langvarig arbeid (Matomäki et al., 2023). Derfor kan det tenkes at forskjell i treningsstatus påvirker resultatene.

I flere studier er det observert at eliteutøverne med best prestasjon, evner å opprettholde prestasjonen bedre enn andre eliteutøvere (Mateo-March et al., 2022; Muriel et al., 2022). I studien til Muriel et al. (2022) sammenlignes syklistene på world tour lag og syklistene på pro tour lag. De samlet inn effektdata fra sykkelcomputerne syklistene brukte under sykkelritt. På bakgrunn av dette sammenlignet de endring i maksimal gjennomsnittlig effekt (MMP) etter et gitt relativt arbeid var gjennomført ($\text{kJ} \times \text{kg}$). Dette ble undersøkt under treukersrittet Vuelta a España, hvor MMP tapte seg mindre hos world tour syklistene enn hos pro tour syklistene i forhold til uthvilt tilstand. Det var ingen forskjell mellom syklistene under rittet sammenlagt, men det var forskjeller mellom ukene og på enkeltetapper. World tour syklistene presterte bedre i rittet enn pro tour syklistene (Mateo-March et al., 2022; Muriel et al., 2022). Det samme observeres i studien til van Erp et al. (2021) hvor syklistene ble delt i to kategorier basert på hvor mange prosyklingpoeng rytteren hadde oppnådd i løpet av en sesong, > 400 poeng resulterte i kategori 1. Syklistene i kategori 1 opprettholdt MMP bedre etter samme relative arbeid enn syklistene i kategori 2. Forskjellen økte sammen med det relative arbeidet (Van Erp et al., 2021). Det var ingen forskjeller i MMP i uthvilt tilstand i disse studiene.

Svakhetene ved studiene kan være at dataene er hentet fra syklistenes egne sykkelcomputere, og det er ikke kontrollert for kalibrering. Det er ikke kontrollert for hvordan energiforbruket ble gjennomført. Det er stor forskjell om arbeidet ble gjennomført med mange akselerasjoner og spurter, som kan være mer utmattende, enn hvis det er gjennomført over lang tid på lav intensitet. Det er vanskeligere å ta høyde for hvilket terreng arbeidet ble gjennomført i, enn hva det vil være ved lab testing, hvor sammenligningsgrunnlaget vil være likt.

5.5 Høyeste aerobe effektutvikling og 15-minutters prestasjonstest

Det var ingen forskjell i W_{maks} mellom gruppene. Dette samsvarer med hypotesen at elitegruppen ikke ville prestere bedre enn kontrollgruppen i uthvilt tilstand. W_{maks} er en god indikator på sykkelprestasjon, og kan påvirkes av både arbeidsøkonomi, $\dot{V}O_{2maks}$, anaerob kapasitet og nevro-muskulære karakteristikk (Faria et al., 2005; Hawley & Noakes, 1992; Jones & Carter, 2000). På bakgrunn av dette kan det antas at det ville vært forskjell til fordel for elitegruppen, da det på forhånd er kjent at disse syklistene er på et høyere prestasjonsnivå enn kontrollgruppen. Samtidig har studier observert at fremgang i W_{maks} korrelerer med økning i hb_{masse} (Berge, 2021; Rønnestad et al., 2022). Derfor kan høyere hb_{masse} per kg antas å sørge for bedre W_{maks} . På andre siden er forholdet mellom $\dot{V}O_2$ og effekt lineært (Iannetta et al., 2019). Ettersom det ikke er forskjell mellom gruppene i arbeidsøkonomi og $\dot{V}O_{2maks}$ verken relativ eller absolutt, kan det tenkes at det ikke er forskjell i effekt som produseres. Det er også observert at det ikke er forskjell i MMP i uthvilt tilstand mellom elitesyklister, men forskjell i trøtt tilstand (Mateo-March et al., 2022; Muriel et al., 2022; Van Erp et al., 2021). På bakgrunn av dette kan det tenkes at det også vil være gjeldende for denne studien.

Elitegruppen hadde høyere gjennomsnittlig effekt og utnyttelsesgrad ved 15-minutters prestasjonstest enn kontrollgruppen, med stor effektstørrelse på begge variabler. Dette samsvarer med hypotesen at elitegruppen presterte bedre i sliten tilstand enn kontrollgruppen. Gjennomsnittlig effekt på 15-minutters prestasjonstest korrelerte også med hb_{masse} per kg og effekt ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ [La^-]. I studien til Berge (2021) observeres det tendens til forskjell i gjennomsnittlig effekt ved 15-minutters prestasjonstest etter økning i hb_{masse} mellom intervensjonsgruppe og kontrollgruppe (Berge, 2021). Studier observerer også korrelasjoner mellom økning i hb_{masse} og høyere gjennomsnittlig effekt ved prestasjonstest (Berge 2021; Rønnestad et al. 2021). På bakgrunn av dette kan det tenkes at elitegruppen vil prestere bedre

under 15- minutters prestasjonstest, når denne studien og studier med samme sykkeltest finner sammenheng mellom hb_{masse} og prestasjon i sliten tilstand.

En metode som brukes for å måle durability er å måle prestasjon etter forlenget arbeid (Maunder et al., 2021). Dette kan denne sykkeltesten i dette studiet være en god metode for. Deltakerne arbeider på varierende intensitet, inkludert test til maksimal utmattelse, i over 90 minutter før 15 minutters prestasjonstest gjennomføres. Det kan derfor argumenteres for at elitegruppen har bedre durability enn kontrollgruppen når prestasjon er bedre på denne testen både i gjennomsnittlig effekt og gjennomsnittlig effekt per kg. Når W_{maks} brukes som et mål på prestasjon i uthvilt tilstand, og elitegruppen evner å opprettholde høyere gjennomsnittlig $\% W_{\text{maks}}$ under 15 minutters prestasjonstest, kan dette tyde på at prestasjonen opprettholdes bedre i elitegruppen enn kontrollgruppen. Dette samsvarer med flere studier, og kan forklare hvorfor elitegruppen presterer bedre (Mateo-March et al., 2022; Muriel et al., 2022; Smyth et al., 2022; Van Erp et al., 2021).

5.6 Praktiske vurderinger

Denne studien er gjennomført som en eksplorativ studie. Dette gjør at det blir gjennomført mange statistiske tester, for å kartlegge forskjellene mellom gruppene. Når det gjennomføres mange statistiske tester, øker dette sannsynligheten for type 1 feil. Det er ikke kontrollert for type 1 feil i de statistiske testene i denne studien. Det er ikke undersøkt hva deltakerne har trent i forkant av studien, eller total treningsbelastning gjennom et år. Dette kunne vært et interessant aspekt da det er observert sammenheng mellom treningsintensitet, treningsvolum og utholdenhetsprestasjon, og kunne forklart resultatene som observeres i studien (Laursen, 2010). Det er og få deltakere i studien. Toppidrett avgjøres ofte med små marginer, noe som kan gjøre at forskjellene er for små til å vises med få deltakere. Deltakerne i denne studien er relativt unge, i forhold til andre studier med elitesyklister har vesentlig eldre deltakere. Sannsynligvis er ikke de prestasjonsbestemmende faktorene til deltakerne i denne studien ferdigutviklet enda, noe som kan gjøre at forskjellene kan bli enda tydeligere senere i karrieren.

5.7 Konklusjon

I denne studien ble det observert høyere gjennomsnittlig effekt ved 15 minutters prestasjonstest til fordel for elitegruppen både som effekt per kg og oppgitt som $\%W_{\text{maks}}$. Elitegruppen har også sammenlignet med kontrollgruppen høyere effekt per kg ved $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} [\text{La}^-]$ og utnyttelsesgrad. Det var en forskjell i hb_{masse} per kg til fordel for elitegruppen. Det var ingen forskjell i $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ eller W_{maks} .

6 Referanser

- Abergel, E., Chatellier, G., Hagege, A. A., Oblak, A., Linhart, A., Ducardonnet, A., & Menard, J. (2004). Serial left ventricular adaptations in world-class professional cyclists: Implications for disease screening and follow-up. *Journal of the American College of Cardiology*, *44*(1), 144–149. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.02.057>
- Almquist, N. W., Eriksen, H. B., Wilhelmsen, M., Hamarsland, H., Ing, S., Ellefsen, S., Sandbakk, Ø., Rønnestad, B. R., & Skovereng, K. (2022). No Differences Between 12 Weeks of Block- vs. Traditional-Periodized Training in Performance Adaptations in Trained Cyclists. *Frontiers in Physiology*, *13*, 837634. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.837634>
- 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>
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *32*(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bonne, T. C., Doucende, G., Flück, D., Jacobs, R. A., Nordborg, N. B., Robach, P., Walther, G., & 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. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00028.2014>
- 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>
- Coyle, E. F. (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *2*(3), 181–189. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(99\)80172-8](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(99)80172-8)
- Coyle, E. F. (2005). Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *Journal of Applied Physiology*, *98*(6), 2191–2196. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00216.2005>

- Coyle, E. F. (2013). Reconsideration of a Tour de France cyclist. *Journal of Applied Physiology*, *114*(10), 1361–1361. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00213.2013>
- 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 & Science in Sports & Exercise*, *24*(7), 782.
- 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. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015412>
- di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *90*(3), 420–429. <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0926-z>
- di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J.-C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *55*(3), 259–266. <https://doi.org/10.1007/BF02343797>
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The Science of Cycling. *Sports Medicine*, *35*(4), 285–312. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535040-00002>
- Granata, C., Jamnick, N. A., & Bishop, D. J. (2018). Training-Induced Changes in Mitochondrial Content and Respiratory Function in Human Skeletal Muscle. *Sports Medicine*, *48*(8), 1809–1828. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0936-y>
- 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>
- Heinicke, K., Wolfarth, B., Winchenbach, P., Biermann, B., Schmid, A., Huber, G., Friedmann, B., & Schmidt, W. (2001). Blood Volume and Hemoglobin Mass in Elite Athletes of Different Disciplines. *International Journal of Sports Medicine*, *22*(7), 504–512. <https://doi.org/10.1055/s-2001-17613>
- Hopker, J., Coleman, D., & Passfield, L. (2009). Changes in Cycling Efficiency during a Competitive Season. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(4), 912. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818f2ab2>
- Hopker, J. G., O’Grady, C., & Pageaux, B. (2017). Prolonged constant load cycling exercise is associated with reduced gross efficiency and increased muscle oxygen uptake. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *27*(4), 408–417. <https://doi.org/10.1111/sms.12673>

- Hopker, J., Passfield, L., Coleman, D., Jobson, S., Edwards, L., & Carter, H. (2009). The Effects of Training on Gross Efficiency in Cycling: A Review. *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 845–850. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1237712>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 3. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Horowitz, J., Sidossis, L., & Coyle, E. (1994). High Efficiency of Type I Muscle Fibers Improves Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(03), 152–157. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021038>
- 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*, 127(6), 1519–1527. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00508.2019>
- 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. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(00\)80008-0](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(00)80008-0)
- Jones, A. M. (2006). The Physiology of the World Record Holder for the Women’s Marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101–116. <https://doi.org/10.1260/174795406777641258>
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373–386. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(Pt 1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- 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*, 309(5), H750–H761. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00138.2015>
- King, J., & Lowery, D. R. (2022). Physiology, Cardiac Output. I *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470455/>
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training?: High-intensity and high-volume training. *Scandinavian Journal of*

- Medicine & Science in Sports*, 20, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M., & Hallén, J. (2013). Seasonal variations in VO₂max, O₂-cost, O₂-deficit, and performance in elite cross-country skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(7), 1780–1790. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827368f6>
- Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO₂ max: Looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220(2), 218–228. <https://doi.org/10.1111/apha.12827>
- Lundby, C., & Robach, P. (2015). Performance Enhancement: What Are the Physiological Limits? *Physiology*, 30(4), 282–292. <https://doi.org/10.1152/physiol.00052.2014>
- Lundby, C., Robach, P., Boushel, R., Thomsen, J. J., Rasmussen, P., Koskolou, M., & Calbet, J. A. L. (2008). Does recombinant human Epo increase exercise capacity by means other than augmenting oxygen transport? *Journal of Applied Physiology*, 105(2), 581–587. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90484.2008>
- Mateo-March, M., Valenzuela, P. L., Muriel, X., Gandia-Soriano, A., Zabala, M., Lucia, A., Pallarés, J., & Barranco-Gil, D. (2022). The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Fatigue Matters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17, 1–6. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2021-0403>
- Matomäki, P., Heinonen, O. J., Nummela, A., Laukkanen, J., Auvinen, E.-P., Pirkola, L., & Kyröläinen, H. (2023). Durability is improved by both low and high intensity endurance training. *Frontiers in Physiology*, 14, 1128111. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1128111>
- Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2021). The Importance of ‘Durability’ in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619–1628. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01459-0>
- Montero, D., Cathomen, A., Jacobs, R. A., Flück, D., de Leur, J., Keiser, S., Bonne, T., Kirk, N., Lundby, A.-K., & Lundby, C. (2015). Haematological rather than skeletal muscle adaptations contribute to the increase in peak oxygen uptake induced by moderate endurance training: Central and peripheral adaptations to training affecting VO₂ peak. *The Journal of Physiology*, 593(20), 4677–4688. <https://doi.org/10.1113/JP270250>
- Montero, D., & Lundby, C. (2018). Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. I R. Terjung (Red.), *Comprehensive Physiology* (1. utg., s. 149–164). Wiley. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180004>

- 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(Pt 1), 273–285. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.086025>
- Muriel, X., Mateo-March, M., Valenzuela, P. L., Zabala, M., Lucia, A., Pallares, J. G., & Barranco-Gil, D. (2022). Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. *European Journal of Sport Science*, 22(12), 1797–1804. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1987528>
- Næss Berge, S. (2021, mai). *Fører fem uker med varmetrening til økt hemoglobinmasse og forbedret utholdenhetsprestasjon i normaltemperatur hos godt trente mannlige og kvinnelige syklister?* brage.inn.no. https://brage.inn.no/inn-xmlui/bitstream/handle/11250/2839337/22_00561-3%20IDR3005%20Berge%20Simen%20N%c3%a6ss_masteroppgave%20629565_1_1.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Ogawa, T., Spina, R. J., Martin, W. H., Kohrt, W. M., Schechtman, K. B., Holloszy, J. O., & Ehsani, A. A. (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*, 86(2), 494–503. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.86.2.494>
- 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. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.6.2491>
- 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., Hamarland, 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., Stensløyken, 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 junior champion time trial cyclist. *Journal of Applied Physiology*, 127(2), 306–311. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00798.2018>
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Thyli, V., Bakken, T. A., & Sandbakk, Ø. (2016). 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(2), 140–146. <https://doi.org/10.1111/sms.12418>
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review: Strength training and endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), 603–612. <https://doi.org/10.1111/sms.12104>
- Rønnestad, B. R., & Tønnesen, E. (2018). *Trening fra barneidrett til toppidrett* (1. utgave). Gyldendal Norsk Forlag.
- Rønnestad, B. R., Urianstad, T., Hamarsland, H., Hansen, J., Nygaard, H., Ellefsen, S., Hammarström, D., & Lundby, C. (2022). Heat Training Efficiently Increases and Maintains Hemoglobin Mass and Temperate Endurance Performance in Elite Cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(9), 1515. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002928>
- Santalla, A., Naranjo, J., & Terrados, N. (2009). Muscle Efficiency Improves over Time in World-Class Cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(5), 1096. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318191c802>
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners: *Sports Medicine*, 34(7), 465–485. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Sawka, M. N., Convertino, V. A., Eichner, E. R., Schnieder, S. M., & Young, A. J. (2000). Blood volume: Importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(2), 332. <https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00012>
- Scharhag, J., Schneider, G., Urhausen, A., Rochette, V., Kramann, B., & Kindermann, W. (2002). Athlete's heart: Right and left ventricular mass and function in male endurance

- athletes and untrained individuals determined by magnetic resonance imaging. *Journal of the American College of Cardiology*, 40(10), 1856–1863.
[https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02478-6](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02478-6)
- Schmidt, W., & Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: A new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5), 486–495. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0050-3>
- Schmidt, W., & Prommer, N. (2008). Effects of various training modalities on blood volume: Total hemoglobin mass and altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18, 57–69. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2008.00833.x>
- Skattebo, Ø., Bjerring, A. W., Auensen, M., Sarvari, S. I., Cumming, K. T., Capelli, C., & Hallén, J. (2020). Blood volume expansion does not explain the increase in peak oxygen uptake induced by 10 weeks of endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 120(5), 985–999. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04336-2>
- Smyth, B., Maunder, E., Meyler, S., Hunter, B., & Muniz-Pumares, D. (2022). Decoupling of Internal and External Workload During a Marathon: An Analysis of Durability in 82,303 Recreational Runners. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, 52(9), 2283–2295. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01680-5>
- 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. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73e70>
- Thomsen, J. J., Rentsch, R. L., Robach, P., Calbet, J. A. L., Boushel, R., Rasmussen, P., Juel, C., & Lundby, C. (2007). Prolonged administration of recombinant human erythropoietin increases submaximal performance more than maximal aerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 101(4), 481–486. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0522-8>
- Van Erp, T., Sanders, D., & Lamberts, R. P. (2021). Maintaining Power Output with Accumulating Levels of Work Done Is a Key Determinant for Success in Professional Cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(9), 1903. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002656>
- van Hall, G. (2010). Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiologica*, 199(4), 499–508. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02122.x>

Yoshida, T., Chida, M., Ichioka, M., & Suda, Y. (1987). Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(1), 7–11. <https://doi.org/10.1007/BF00696368>