

Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak ved staking i langrenn

Sondre Eriksen



Masteroppgave i kroppsøving, idrett og friluftslivsfag
Høgskolen i Telemark, Bø



Tittel:	Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak ved staking i langrenn
Nøkkelord:	Staking, 4x4min intervall trening, VO_{2peak} , VO_{2max} , utnyttelse av VO_{2max} ved staking, arbeidsøkonomi, prestasjonen, trening av stakekapasitet
Forfattere/	Sondre Eriksen
Studentnr.:	050847
Fagkode:	1304
Oppgavetype:	Masteroppgave
Studiepoeng:	60
Studium:	Masterstudium i kroppsøving, idrett og friluftslivsfag
Konfidensiell:	Nei





Sammendrag

ERIKSEN, SONDRÉ. Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak ved staking i langrenn. Masteroppgave ved Høgskolen i Telemark, institutt for idretts og friluftsfag, 27. mai 2010. **Bakgrunn:** Staking blir en stadig mer benyttet skiteknikk i takt med økt gjennomsnittshastighet i langrennskonkurranser og bedre overkroppstrengte utøvere. VO_{2max} korrelerer sterk med prestasjonen i utholdenhetsidretter (Costill et al. 1973, Støa et al. 2010). Ved maksimalt aerob arbeid i staking er det en dårlig utnyttelse av det maksimale oksygenopptaket. VO_{2peak} i staking ligger kun på 85 % av VO_{2max} målt i løping (Hoff et al. 2002, Nilsson et al. 2004). Dette studiet så derfor på om høyintensiv aerob intervalltrening utført som staking på rulleskimølle vil øke VO_{2peak} i staking og flytte VO_{2peak} i staking nærmere VO_{2max} i løping, slik at en kan øke utnyttelsen av maksimalt oksygenopptak ved staking. Det ble også sett på endringer av stakeøkonomi og om en endring av disse prestasjonsbestemmende faktorene ville bedre prestasjonen på 3km staking. **Metode:** 16 forsøkspersoner med alder på 25 ± 9 år og VO_{2max} på $69,3 \pm 9,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ gjennomførte studien, $n = 9$ i intervensjonsgruppa (2 jenter) og $n = 7$ i kontrollgruppa (kun menn). Intervensjonsgruppa gjennomførte 4x4min stakeintervalltrening, 3 ganger i uka i 6 uker på rulleskimølle. Intensiteten var på ≥ 90 % av Hf_{peak} målt i staking. Kontrollgruppa gjennomførte sin vanlige trening. **Resultater:** VO_{2peak} i staking økte signifikant med 5,7 % fra 51,6 til 54,5 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ og med 6,2 % fra 214,6 til 228,0 $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-0,67} \cdot \text{min}^{-1}$. Arbeidsøkonomien forandret seg ikke signifikant, med det var en god tendens til forbedring. Ingen signifikante endringer ble funnet i VO_{2max} (løping), mens VO_{2peak} endret seg signifikant fra 81,6 til 88,4 % av VO_{2max} . Prestasjonen på 3km staking bedret seg med 164 sek (19,7 %) i intervensjonsgruppa, bedringen var 139 sek (16,7 %) bedre enn i kontrollgruppa. **Konklusjon:** Høyintensiv aerob intervalltrening i staking øker VO_{2peak} , utnyttelsen av maksimalt oksygenopptak ved staking og prestasjonen på 3km staking.





Innhold

INTRODUKJON	5
Viktigheten av overkroppskapasitet i langrenn.....	5
Hva begrenser en langrennsprestasjon?.....	5
Maksimalt oksygenopptak	6
Begrensninger for stakekapasitet	11
Arbeidsøkonomi.....	14
Laktatterskel	19
Utnyttingsgrad.....	21
Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak ved staking.....	22
METODE	24
Forsøkspersoner	24
Utstyr.....	24
Testprotokoll.....	25
Trening og kriterier	27
Allometrisk skalering.....	28
Statistisk analyse.....	28
RESULTATER	29
Korrelasjoner	30
DISKUSJON	32
VO_{2peak} i staking og VO_{2max} i løping	33
Utnytting av maksimalt oksygenopptak.....	35
Stakeøkonomi	35
Utnyttingsgrad	38
Tidsprestasjon på 3 km staketest.....	38
$H_{f_{peak}}$ og t_{peak}	38
Forsøkspersoner, praktiske komplikasjoner og svakheter	39
Trening i langrenn og staking.....	39
KONKLUSJON	40
LITTERATUR	41



INTRODUKJON

Viktigheten av overkroppskapasitet i langrenn

Ved å sammenligne tider på gitte distanser i langrenn ser en at gjennomsnittshastigheten i langrennskurranser har økt gradvis de siste 30 årene (Fis-ski.com 2010, Wapedia.mobi/en 2010). Dette kan skyldes bedre preparering av løyper, utvikling av utstyr og mer fokus på overkroppstrening hos langrennsløpere. Den økte gjennomsnittshastigheten i langrenn har gjort staking til en mer benyttet skiteknikk, ettersom dette er en mer økonomisk skiteknikk i høyere hastigheter enn de andre klassiske teknikkene (Hoffman et al. 1994). Det kan også se ut som at dagens langrennsløpere benytter seg av staking i stadig tyngre terreng. Ved å se på for eksempel Wold Cup sprint i Drammen 2005, staka seks av de åtte beste løperne i alle heatene helt til finalen. Av disse staka alle som ble topp 3 (Stöggl et al. 2006). Det har også blitt staka hele Vasaloppet på skøyteski (Karlsen 2009).

Hva begrenser en langrennsprestasjon?

I langrenn konkurreres det i alt fra sprint til langdistanselangrenn. Sprintløypene for menn har en distanse fra ca 1200m og opp til rundt 1800m på seniornivå (Worldcupdrammen.no 2010, Beitoworldcup.com 2010). Langdistanselangrenn som for eksempel Vasaloppet går over 90km. Det vil naturligvis skille mellom viktigheten av ulike prestasjonsbestemmende faktorer fra sprint til langdistanselangrenn (Costil et al. 1973, Bosch et al. 1990, Rusko 2003, Stöggl et al. 2006).

Anaerob metabolisme er hovedbegrensende energiomsetning ved en konkurransevarighet på under 1 min (Medbø og Tabata 1989). Aerob metabolisme viser seg å være hovedbegrensende ved lengre konkurransetid og blir viktigere til lengre konkurransevarigheten er (Åstrand et al. 2003).

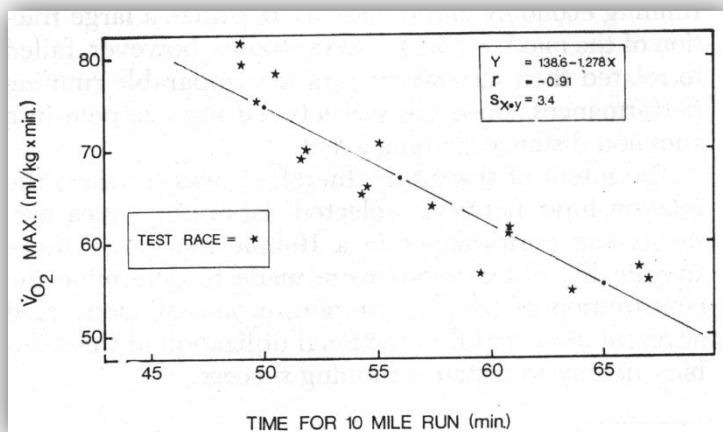
Konkurransetiden på den korteste klassiske-sprinten i WC sesongen 2009/2010 var på 2min og 13sek for menn (Langrenn.com 2010). Da begrenses selv den korteste konkurranseformen i langrenn hovedsakelig av aerob metabolisme, selv om anaerob energifrigjøring også spiller inn i relativ stor grad. I langrennskurranser er det også nedoverbakker som gjør at det blir enkelte hvilepartier gjennom et løp, samtidig som veksling mellom ulike teknikker vil gjøre at ikke alle musklene jobber like intensivt hele tiden (Rusko 2003).

En aerob utholdenhetsprestasjon blir begrenset av flere fysiologiske faktorer. Disse faktorene er maksimalt oksygenopptak, arbeidsøkonomi, laktat terskel og utnyttingsgrad (Costill et al. 1973, Scrimgeour et al. 1986, Bosch et al. 1990, Hoff et al. 2002, Di prampero 2003, Støren et al. 2008). Viktigheten av de forskjellige faktorene knyttet opp til utholdenhetsprestasjonen er som nevnt avhengig

av konkurransens varighet. Eksempelvis vil ikke utnyttingsgraden nødvendigvis ha betydning som prestasjonsbestemmende faktor dersom konkurransetiden er under ca 30 min (Støa et al. 2010), men mer være nettopp et produkt konkurransetiden.

Maksimalt oksygenopptak

Maksimalt oksygenopptak (VO_{2max}) er definert som den høyeste verdien av oksygen som kan tas opp fra atmosfæren og utnyttes i vevene (Bassett and Howley 2000). VO_{2max} har vist seg å være den viktigste faktoren for en aerob utholdenhetsprestasjon (Costil et al. 1973, Di Prampero 2003), i hvert fall i en relativt heterogen prestasjonsgruppe (Scrimgeour et al. 1986). Eksempelvis viser Costil et al. (1973) i figur 1, meget sterk korrelasjon ($r = -0,91$) mellom VO_{2max} og prestasjonen på et 10-miles (16,09km) løp.



Figur 1 – Sammenhengen mellom VO_{2max} og prestasjonen på et 16,09km (10-mile) test-løp. Korrelasjonskoeffisienten (r) er på hele - 0,91 (Costill et al. 1973).

Oksygenleveransen fra atmosfæren til dannelsen av adenosine triphosphate (ATP) i arbeidende skjelettmuskulatur bestemmes av en rekke fysiologiske faktorer. Respirasjonen (lunger), hemoglobinkonsentrasjon, blodvolum, minuttvolum, muskelfibertypefordeling, kapillærtetthet, mitokondrietetthet og mengde oksydative enzymer er faktorer som kan være med å begrense denne leveransen (Klausen et al. 1981, Saltin et al. 1995, Stray-Gundersen et al. 2001, Helgerud et al. 2007)

Respirasjon (lunger)

Respirasjonen blir normalt ikke sett på som en begrensning på VO_{2max} hos friske personer, fordi lungeventilasjonen og lungenes diffusjonskapasitet av oksygenmolekyler til blodet har vist seg å være svært effektiv (Richardson et al. 1999). Ved opphold i stor høyde over havet vil et lavere partialtrykk for oksygen (PO_2) føre til redusert tilgang på oksygen sammenligna med havnivå (Angermann et al.

2006). Dermed blir arterielt oksygeninnhold lavere og det fører til en nedgang i VO_{2max} i høyden (Richardson et al. 1999). For personer med svært høy VO_{2max} kan respirasjonen (lungene) være en begrensning på VO_{2max} (Poole & Richardson 1997). Blodgjennomstrømningen kan ved maksimalt arbeid være så høy gjennom et høyt minuttvolum at ikke like mye oksygen rekker å diffundere over til hemoglobinet i blodet. Oksygenmetningen av blodet går da ned. Respirasjonen kan også være en begrensning for VO_{2max} hos personer med astma eller kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS) (Terziyski et al. 2009). Bronkier og bronkioler innsnevres ved astma, pga av en inflammatorisk reaksjon, og dette kan også ses ved enkelte allergier. Dette gir spesielt resistanse ved ekspirasjon på høye ventilasjonsverdier. Inflamasjonsreaksjonen kan også gi slimdannelser i luftveiene. Mindre oksygen kommer da ned i lungene. Astmasymptomer forsterkes ikke så sjelden ved høyt aktivitetsnivå, fuktig klima og / eller kulde. Derfor kan astma være en sterk prestasjonsvekkende faktor hos for eksempel langrennsløpere (Stensrud et al. 2006, Stensrud et al. 2007a, Stensrud et al. 2007b).

Hjertets minuttvolum

Minuttvolum (MV) er mengden blod hjertet pumper ut pr minutt. Det bestemmes av hjertets slagvolum (SV) og hjertefrekvensen (Hf). Slagvolum er mengden blod hjertet pumper ut pr hjerteslag, mens hjertefrekvensen er antall hjerteslag pr minutt. Slagvolumet bestemmes av det endediastoliske volumet (EDV) og endesystoliske volumet (ESV). EDV bestemmes av hjertes volum og den venøse tilbakestrømningen (trykket på, og mengden av blodet som kommer inn i hjertet). Mens ESV bestemmes av hjerteveggenes kontraksjonskraft og motstanden i blodårene. EDV minus ESV = Slagvolum. Hjertefrekvensen bestemmes av det autonome nervesystemets innvirkning på sinusknuten og av hormoner, og indirekte av det fysiske aktivitetsnivået (Bjålie et al. 2003). Helgerud et al. (2007) har vist at hjertets slagvolum er svært påvirkelig av trening, der en 10 % økning av maksimalt slagvolum (SV_{max}) førte til en økt VO_{2max} med 7,2 %. Dette stemmer godt med Di Prampero (2003), der minuttvolumet (sammen med O_2 transport kapasiteten til blodet) hevdes å bestemme 70-75 % av VO_{2max} ved bruk av store muskelgrupper.

Hf_{max} mellom elite langrennsløpere og utrente personer er ikke signifikant forskjellig, men Hf i hvile er lavere hos godt trente langrennsløpere. Maksimalt slagvolumet hos en elite langrennsløper med VO_{2max} på $6,3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ kan ligge på 200 ml. Minuttvolumet er da også betydelig høyere hos elite langrennsløpere enn hos utrente, se tabell 1.

Tabell 1.

	Vekt (kg)	VO _{2max} (L·min ⁻¹)	VO _{2max} (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	MV _{max} (L·min ⁻¹)	Hf _{max} (s.p.m)	SV _{max} (ml)
Utrent voksen	75	2,2	30	15	198	75
Trent voksen	71	3,7	53	23	195	120
Junior langrennsløper	71	5,2	73	30	190	160
Elite langrennsløper	72	6,3	87	37	185	200

Sammenligning av maksimal hjertefrekvens (Hf_{max}), slagvolum (SV) og minutt volum (MV), mellom en utrent, trent, junior langrennsløper og elite langrennsløper med forskjellig maksimalt oksygenopptak (VO_{2max}) (Rusko 2003, s. 2).

Hemoglobin og Blodvolum

Jo større mengde blod, og jo større mengde hemoglobin i blodet, jo flere oksygenmolekyler kan fraktes til musklene (Åstrand et al. 2003). Gjennomsnittelig hemoglobintetthet i blodet er i følge Saltin et al. (1995) og Heinicke et al. (2005) ca 14,8 gram pr desiliter blod for menn. Stray- Gundersen et al. (2001) viste en økning av hemoglobinmengden med 1 gram pr desiliter blod etter høydetrening (menn og kvinner). Økt tetthet av hemoglobin (røde blodceller) er et stimuli til økt blodvolum (Svedenhag et al. 1997, Stray-Gundersen et al. 2001, Wehrlin et al. 2006). Den totale økte hemoglobinmassen i blodet kan da være større enn hva økt antall gram per desiliter blod skulle tilsi, pga det økte blodvolumet. Økt blodvolum vil også føre til økt slagvolum, pga. økt venøs tilbakestrømning (Bjålie et al. 2003). En økt oksygentransportkapasitet i kombinasjon med trening har ført til økning av VO_{2max} med 2,3-4,1 % (Stray-Gundersen et al. 2001, Wehrlin et al. 2006).

Perifere faktorer (muskelfibertypfordeling, kapillærer, mitokondrier, oksidative enzymer)

Muskelfibertype 1 gir bedre betingelser for aerob energiomsetning enn muskelfibertype 2, gjennom blant annet større kapillærtetthet, flere mitokondrier og oksidative enzymer. (Ivy et al. 1980, Åstrand et al. 2003, Stisen et al. 2006). Ettersom muskelfibertypfordelingen er forskjellig mellom for eksempel bein og overkropp (Terzis et al. 2006), vil det være forskjeller i hvor gode betingelser for aerob energiomsetning ulike muskelgrupper har. Samtidig vil det være forskjeller i hvor godt disse musklene kan bruke sin aerobe kapasitet avhengig av hvor store og mange muskelgrupper som brukes samtidig (Richardson et al. 1999). Tettheten av kapillærer i en muskel er med på å bestemme muskelens tilgang på oksygen (O₂). Ved høy kapillærtetthet vil blodet og oksygenmolekylene bevege seg saktere og det blir en økt tid til diffusjon gjennom kapillærveggen, en såkalt økt Mean Transitt Time (MTT) (Richardson et al. 1994). Oksygenmolekylene vil også komme nærmere mitokondriene. I mitokondriene tas oksygenet opp gjennom den oksidative fosforileringen og produksjon av ATP kan finne sted. Antall kapillærer, mitokondrier og oksidative enzymer kan endres ved trening (Klausen et al. 1981, Schants og Henriksson 1983).

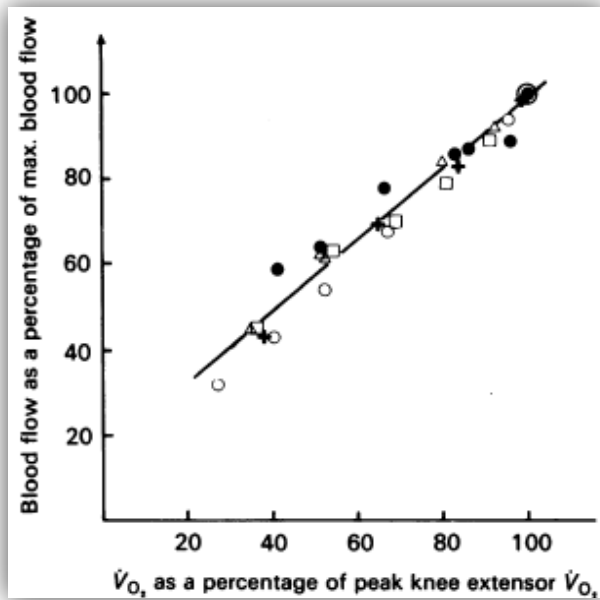
Schantz og Henriksson (1983) viste økning i kapillærtettheten per mm^2 i en utrent muskel (triceps brachi) med 50 % etter en periode med lav intensitetstrening på 45 % av $\text{VO}_{2\text{max}}$. Der det ble trent 5,5t om dagen, 6 dager i uka i 8 uker. Det var også økning i mengden oksidative enzymer. Men i en trent muskel (vastus lateralis) var det ingen endringer på verken kapillærtetthet eller i oksidative enzymer. Treningen som ble gjennomført var skigåing med ryggsekk i fjellet. Treningen inkluderte derfor både Vastus lateralis og Triceps Brachi. Imidlertid har Gjøvaag og Dahl (2008) vist at mengden oksidative enzymer øker betydelig etter en periode med høyintensiv trening. Det konkluderes med at det er intensiteten og ikke mengden av trening som bidrar til best økning av det oksidative enzymet succinate dehydrogenase (SDH). Det samme har Evertsen et al. (1999) vist.

Sentral eller perifer begrensning av $\text{VO}_{2\text{max}}$?

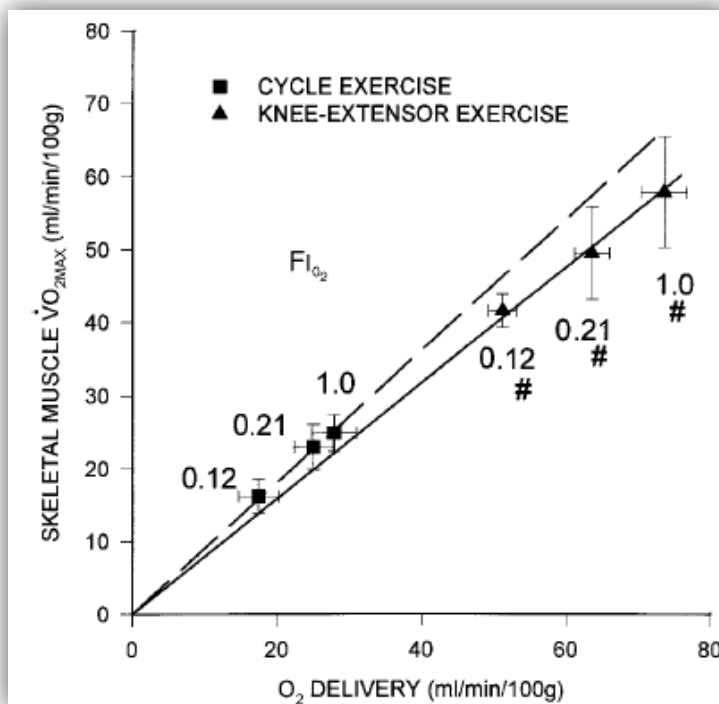
Musklene tar opp oksygen etter behov (Andersen og Saltin 1985, Calbet et al. 2004). Ved økende arbeidsbelastning øker oksygenopptaket (VO_2) (Andersen og Saltin 1985). Behovet for en større mengde ATP blir større med mer intensivt arbeid. For å øke produksjonen av ATP i musklene aerobt trengs det flere O_2 molekyler. Andersen og Saltin (1985), Richardson et al. (1999) og Calbet et al. (2004) viser at VO_2 i en muskel øker ved økende blodflow til muskelen (figur 2). Blodstrømmen blir regulert ved at blodårediameteren utvider seg, slik at en større blodflow kan strømme igjennom blodårene (Calbet et al. 2004) og ved at mer blod pumpes ut pr hjerteslag. Zhou et al. (2001) viser at SV og Hf øker med økende intensitet. Økt SV og økt Hf fører til et økt minuttvolum. Til høyere minuttvolumet er til større blir blodflowen.

I Richardson et al. (1999) ble det målt blodflow til og oksygenopptak i quadriceps ved maksimalt og submaksimalt arbeid i kneekstensjon. Hos disse personene (konkurransesyklister) kunne Quadriceps ta opp 1,24 liter O_2 i minuttet (figur 3). Quadriceps har ca 10 % av kroppens muskelmasse. Hvis alle musklene skulle ta opp like mye O_2 som quadriceps har kapasitet til ved maksimalt arbeid, ville det medføre et oksygenopptak på $12,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ hos en konkurransesyklist. I tillegg trenger også kroppens organer en viss mengde oksygen. Elite langrennsløpere kan ha maksimal oksygenopptak på over $6,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (Bergh 1987). Det vil si at $\text{VO}_{2\text{max}}$ og da hjertes maksimale pumpekapasitet (minuttvolum) vil overstiges betraktelig hvis alle musklene som brukes i langrenn skulle kunne tatt opp den mengden oksygen de har kapasitet til å gjøre. Dette viser behovet for et høyt minuttvolum. Studiet til Richardson et al. (1999) er gjort på mannlige konkurransesyklister. Ved å ta utgangspunkt i mannlige konkurransesyklister i Sunde et al. (2009) har de gjennomsnittelig $\text{VO}_{2\text{max}}$ målt i sykling på $4,72 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ og dermed ville $\text{VO}_{2\text{max}}$ overstiges med 2,6 ganger ved maksimalt arbeid, hvis alle musklene kunne brukt sin maksimale kapasitet. Resultatene til Richardson et al. (1999) er i samsvar med resultater fra Andersen og Saltin (1985) som viser at en enkelt muskelgruppe har evne til å ta opp fire

ganger så mye oksygen som den gjør ved helkroppsarbeid, og at dette er direkte relatert til blodstrøm (se figur 2). Begge disse studiene indikerer tydelig at det oksygentilbudet til arbeidende muskel, altså en sentral faktor som er hovedbegrensningen for $\dot{V}O_{2max}$.

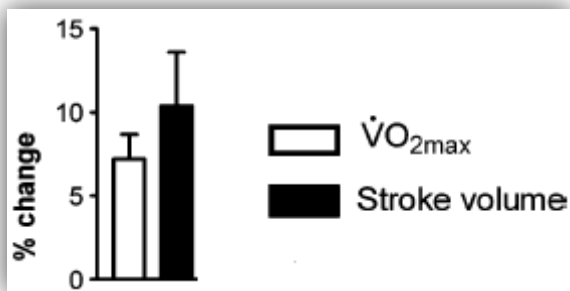


Figur 2. Sammenhengen mellom Blod flow og oksygenopptak ($\dot{V}O_2$) i kneekstensjonsmusklene ved økende intensitet hos 4 friske menn. Verdier på x- og y-akse er oppgitt i % av høyeste oppnådde verdi av blod flow og $\dot{V}O_2$, $r = 0,98$. Hentet fra Andersen og Saltin (1985).



Figur 3. Sammenhengen mellom $\dot{V}O_{2max}$ og O_2 leveranse i sykling (to bein) og kneekstensjon. Maksimal O_2 utnyttelse i kneekstensjon (et bein) blir signifikant redusert sammenlignet med O_2 utnyttelse i sykling ($P < 0,05$) (Richardson et al. 1999).

Dette understøttes også av treningsintervensjoner som har påvist at økning i VO_{2max} kan relateres til økning i SV_{max} . Helgerud et al. (2007) viste at økt SV_{max} med 10 % førte til økt VO_{2max} med 7,2 % (figur 4). Likeledes har studier på røkebeinspasienter (Helgerud et al. 2009), på hjertepasienter (Wisløff et al. 2007), på aktive studenter (Helgerud et al. 2007) og på elite utøvere (Billiat et al. 2002), vist at trening som bedrer hjertets SV_{max} fører til økning av VO_{2max} .



Figur 4. Stor signifikant sammenheng mellom endring av SV_{max} og VO_{2max} . 10 % bedring av SV_{max} førte til 7,2 % bedring av VO_{2max} (Helgerud et al. 2007).

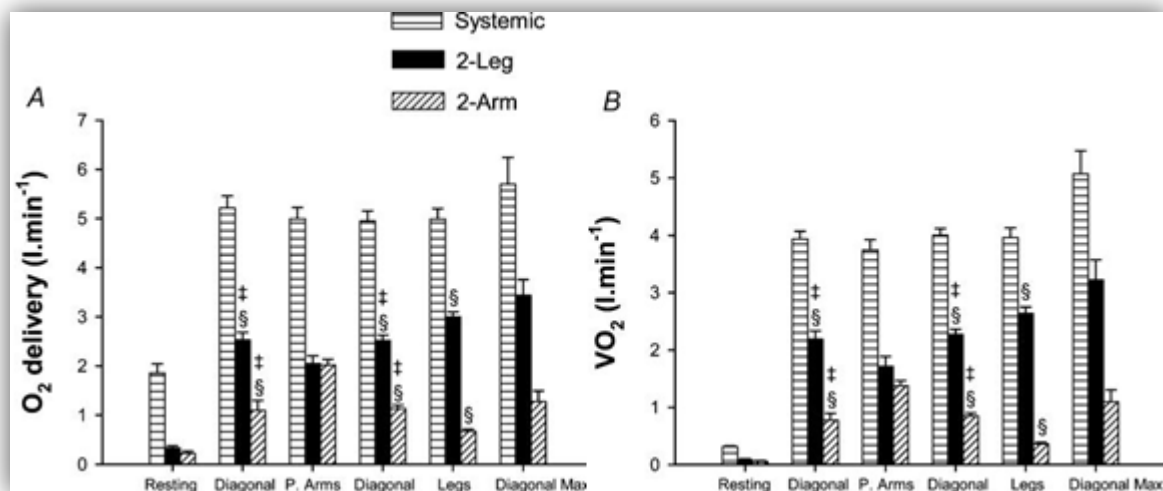
O_2 leveransen, og dermed tilbudet til arbeidende muskulatur, har som nevnt en stor sammenheng med O_2 opptaket (Calbet et al. 2004). Ved en stor O_2 leveranse til en mindre muskelmasse ser det ut til at utnyttinga av tilbudt oksygen blir dårligere. I Richardson et al. (1999) sammenlignes sykling (to bein) og et beins kneekstensjon. Der en ved kneekstensjon ikke greier å ta opp en like stor prosent av det oksygenet som blir tilbudt som ved sykling (figur 3). Ved kneekstensjon blir mer O_2 tilbudt en mindre muskelmasse. De perifere faktorene, deri blant kapillærtettheten ser ikke ut til å være godt nok utviklet til å kunne ta opp og utnytte et så stort tilbud av oksygen per minutt (høyt kapillært PO_2). Færre O_2 molekyler i prosent rekker å diffundere inn i mitokondriene. Det blir dermed for dårlig MTT i forhold til ved sykling der O_2 tilbudet til en bestemt muskelmasse blir mindre, slik at O_2 molekylerne får bedre tid til å diffundere gjennom kapillærvæggen og inn i muskelcella. Det ser dermed ut at de perifere faktorene får større innvirkning på VO_{2max} når det er snakk om arbeid med en veldig liten muskelmasse. I langrenn arbeides det med hele kroppen, men i staking isolert arbeides det med en mindre muskelmasse.

Begrensninger for stakekapasitet

Blodåreveggene trekker seg sammen og strekkes for å regulere blodstrømmen mot musklens oksygenbehov (Calbet et al. 2004). Calbet et al. (2004) har sett på oksygenleveranse og oksygenopptak i hvile, diagonalgang, staking og diagonalgang uten staver. Dette er vist i figur 5a. Der det i hvile er relativt lik oksygenleveranse til overkropp og bein, selv om muskelmassen til beina er litt

større. Overkroppen har imidlertid de livsnødvendige organene som hele tiden trenger oksygen for å arbeide. I diagonalgang uten staver (beinarbeid) er det langt høyere oksygenleveranse til beina enn overkroppen. Ved diagonalgang med staver blir O_2 leveransen til beina regulert litt ned ved at femoral arterie ikke utvides like mye, for å øke leveransen til overkroppsmuskulaturen som blei tatt mer i bruk etter at stavene ble tatt på. Selv i et kombinert bein og overkroppsarbeid slik som diagonalgang med staver er O_2 leveransen betydelig større til beina enn overkroppen.

I staking ser enn at oksygenleveransen er lik til bein og overkropp. I staking brukes overkroppen mest intensivt, men beina brukes også i en viss grad for å stabilisere og holde overkroppen i posisjon (Holmberg et al. 2005). Staking kan allikevel bli sett på som et overkroppsarbeid, der en stor blodstrøm blir tilknyttet stakemuskulaturen (Calbet et al. 2004).



Figur 5. Oksygenleveranse (O_2 delivery) og oksygenopptak (VO_2) i hvile (Resting), for hele kroppen (horisontale linjerte søyler), bein (fylte søyler) og arm (skrå-linjerte søyler) ved kombinert beina og armarbeid (diagonal), staking (hovedsakelig armer = P. Arms), beinarbeid (diagonalgang uten staver = legs) og maksimalt arbeid i diagonalgang (Diagonal Max). § $P < 0,05$ sammenligna med staking; ‡ $P < 0,05$ sammenligna med diagonalgang uten staver (Calbet et al. 2004).

Ved å sammenligne figur 5a og b, ser en forskjeller i oksygenopptaket i forhold til oksygenleveransen mellom bein og overkropp. En kan se at overkroppen tar opp en langt mindre del av oksygenet som blir tilbudt enn beina. Tidligere kom jeg fram til at det var tilbudet av oksygen som var begrensende for VO_{2max} . Der hjertes slagvolum er den avgjørende faktoren (Helgerud et al. 2007). Men siden overkroppen ser ut til å ha en dårligere utnyttelse av tilbudt oksygen, ligger det en begrensning her i forhold til overkroppsmusklens VO_{2peak} .

Richardson et al. (1999) viste dårligere oksygenutnyttning i Quadriceps ved et beins kneekstasjon enn to beins sykling. Stakemuskulaturen er større til sammen enn hva Quadriceps er, og dermed bør også

Høgskolen i Telemark

utnyttinga av O_2 være bedre i stakemuskulaturen sett ut fra at en større andel aktiv muskelmasse kan ta utnytte en større del av tilbudt oksygen. Utnyttinga av O_2 i staking var 68 % i Calbet et al. (2004), mens den var 77,5 % i et beins kneekstensjon (isolert quadriceps) i Richardson et al. (1999). Dermed viser det seg at beinmuskulatur er langt bedre til å utnytte tilbudt oksygen enn overkroppen, selv ved en mindre aktiv muskelmasse.

I Calbet et al. (2004) ble stakinga gjennomført på en intensitet som tilsvarer ca 86 % av VO_{2peak} i staking. Etersom Calbet et al. (2004) også viser at utnyttinga av oksygen blir gradvis bedre til nærmere VO_{2max} en befinner seg, vil det være naturlig at en utnytter en langt høyere prosent enn 68 ved maksimalt arbeid i staking. Calbet et al. (2004) viste ved maksimal diagonalgang med staver (maksimalt bein og overkroppsarbeid), at den arterie venøse utnyttingen av oksygen var 93,4 % i bein (femoral arterie/vene) og 85,2 % i overkropp/armene (subclavian arterie/vene). Björklund et al. (2010) viste en høyere muskelaktivisering i armene enn beina og en lengre kontakttid med underlaget for stavene enn hva som tilfelle med beina ved diagonalgang på 90 % av VO_{2max} . Dermed skulle en tro at utnyttelsen av oksygen burde være god i armene, ettersom Calbet et al. (2004) og studien til Björklund et al. (2010) viser at utnyttingen av oksygen blir bedre til høyere intensitet er. Imidlertid kan en lang kontakttid mellom staver og underlag være en indikasjon på lang kontraksjonstid i arbeidende muskler, og en tilsvarende kort MTT. Dette ville i så fall kunne føre til en dårligere diffusjonskapasitet mellom blod og skjelettmuskel.

I Björklund et al. (2010) var laktatverdiene høyere i armene enn i beina både på 90 % (5,4 vs 4,0 $mMol \cdot L^{-1}$) og 70 % (4,5 og 3,5 $mMol \cdot L^{-1}$) av VO_{2max} . Laktatverdiene stiger med økende arbeidsbelastning og er da i tillegg til høy muskelaktivisering et tegn på høy arbeidsintensitet (Larson 2006, Helgerud et al. 2007). Dermed burde behovet for en god oksygenutnyttelse være høy.

De høye laktatverdiene i armene kan også komme av bedre evne til anaerob metabolisme i armmusklene, på grunn av overvekt av muskelfibertype 2 i arm og overkroppsmuskulatur. Ivy et al. (1987) viste imidlertid ingen signifikant forskjell i laktatverdier mellom muskelfibertype 1 og 2 på forskjellige like arbeidsbelastninger, men det var en tendens til høyere laktat hos type 2. Den prosentvise oksygenutnyttinga i overkroppen/armene ved staking vil heller ikke være lik som ved diagonalgang. Calbet et al. (2004) viser at mye mindre blod går til beina ved staking enn ved diagonalgang. Større blodflow blir da knytta til overkroppen og ettersom en større blodflow blir tilknyttet en mindre muskelmasse, viser Richardson et al. (1999) at den arterie venøse differansen av oksygen blir lavere. Det vil si at utnyttelsen av tilbudt oksygen i staking og i overkropp/armene ved staking blir dårligere enn hva oksygenutnyttinga i overkropp/armene er i diagonalgang.

Siden muskelfibertype 1 ser ut til å ha en bedre perifer kapasitet (Ivy et al. 1980), med en større kapillærtetthet enn muskelfibertype 2. Kan den dårligere utnyttelsen av oksygen komme av en dårligere perifer kapasitet med blant annet dårligere utbygd kapillærnett. Dette kan gjøre at blodet gjennom overkroppsmusklene strømmer i høyere hastighet gjennom kapillærene enn hva tilfellet hadde vært hvis kapillærnettet hadde vært større (Richardson et al. 1994). MTT blir dårligere og færre oksygenmolekyler "rekker" å diffundere inn gjennom kapillærveggene og inn i mitokondriene. Dårligere perifer kapasitet i tillegg til muskelfibertypesammensetningen kan ha sammenheng med at muskulaturen i beina blir betydelig mer brukt enn beina gjennom daglige gjøremål.

Muskel vene pumpa kan øke den venøse tilbakestrømmingen av blod til hjerte og kan dermed øke hjertes slagvolum og VO_{2max} (Sand et al. 2001). Holmberg et al. (2005) har vist at enkelte muskelgrupper i beina blir brukt aktivt i staking. Det kan antas at disse arbeider noe mer isometrisk i deler av stakesyklusen enn i for eksempel bevegelsesyklusen i diagonalnag. Muskel vene pumpa blir dermed mindre effektiv. Noe som kan påvirke SV og VO_2 i staking. Calbet et al. (2004) målte som nevnt en lik blodstrøm til bein og armer/overkroppsmuskulatur ved staking på 86 % av VO_{2max} . Halvparten av blodstrømmen går da til armene og overkroppsmuskulatur. Den venøse strømmen fra armene og overkroppen til hjertet bør også være god. Siden blodet vil renne nedover og i tillegg vil musklene i armene være med å presse på venene, noe som vil være viktig ettersom albuene sjelden vil være over skulderhøyde i staking (eventuelt kun ved svært høy stakelastighet).

I Calbet et al. (2004), Calbet et al. (2005) og Björklund et al. (2010) ble oksygenutnyttingen målt i Subclavian vene. Richardson et al. (1999) viste at den arterie venøse O_2 differansen var mindre ved bruk av en mindre muskelmasse (kneekstensjon et bein) sammenligna med en større muskelmasse (sykling to bein). Dermed vil muskelmassen venen samler blod fra kunne påvirke den arterie venøse differansen. Subclavian vene ligger delvis bak clavícula og samler blod fra overekstremiteten og en del av halsen og brystveggen. Venen får da med seg det meste av viktige muskler i overkroppen (Dahl og Rinvik 1999) og er da et godt sted for å måle O_2 innholdet i det venøse blodet ved staking.

Arbeidsøkonomi

Arbeidsøkonomi (C) viser energiforbruket. Siden oksygenforbruket indirekte viser energiforbruket, kan mengden oksygen brukt på en gitt distanse/belastning angi arbeidsøkonomi. C angis derfor ofte som VO_2 på et gitt arbeid, $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (Costil et al. 1973), eller som VO_2 pr meter, $mL \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ (Di Prampero et al. 1986). Det er også vanlig å måle efficiency, som vil si hvor stor del av et muskelarbeid som omsettes til ytre arbeid og hvor stor del som omsettes til varme (Horowitz et al. 1994, Kent 2006).



C er en svært viktig faktor for en utholdenhetsprestasjon. Selv om langrenn har et stort sprik i konkurransetid fra sprint til langdistanselangrenn, vil C være en viktig faktor på alle distanser. Viktigheten i forhold til VO_{2max} som prestasjonsbestemmende faktor kan imidlertid endre seg litt avhengig av distanse (Costill et al. 1973, Stöggl et al. 2006), og om det er snakk om ei homogen gruppe med tanke på VO_{2max} eller ikke. For eksempel viste Costill et al. (1973) sterk korrelasjon ($r = -0,91$) i løping mellom VO_{2max} og prestasjonen på et 10-mile løp (16,09km) i en gruppe løpere på forskjellig nivå. Mens Conley and Krahenbuhl (1980) viste relativ sterk korrelasjon ($r = 0,82$) mellom løpsøkonomi og prestasjonen på 10 km løp i en gruppe løpere med lik VO_{2max} , med en range på 10 km løpstid på 30.5 - 33.5 min.

I langrenn kan en se at en vanlig turgåer har betydelig lavere VO_{2max} enn en elite langrennsløper som vanligvis har VO_{2max} på over $80 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Mahood et al. 2001). Dermed vil korrelasjonen mellom VO_{2max} og prestasjonen være stor dersom begge disse gruppene inkluderes i et utvalg. Men hvis turgåeren er en eliteløper i løping vil han sannsynligvis også ha VO_{2max} på over $80 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Costill et al. 1973) og dermed vil sannsynligvis ikke VO_{2max} men C skille prestasjonen, ettersom en aerob utholdenhetsprestasjon i hovedsak begrenses av disse to faktorene (Costill et al. 1973, Conley and Krahenbuhl 1980).

Hva bestemmer arbeidsøkonomi?

C på en gitt belastning bestemmes av en rekke faktorer. Teknikk, musklernes kontraksjonshastighet og effektivitet, muskulært samspill, muskelfibertyper, muskel - sene stiffness, trøtthet og antropometriske variabler er alle faktorer som kan påvirke C i utholdenhetsidretter (Scrimgeour et al. 1986, Horowitz et al. 1994, Hoff et al. 2002, Zamparo et al. 2002, Holmberg et al. 2005, Zamparo et al. 2005, Støren et al. 2008).

Teknikk

Teknikken bør være så effektiv som mulig, slik at en med best mulig taiming mellom ulike kroppsdelene og underlaget, og posisjon mellom disse kroppsdelene kan oppnå så effektive bevegelser som mulig (Holmberg et al. 2005). I tillegg har frekvens og sykluslengde vist seg å påvirke C (Zamparo et al. 2005). Eksempelvis har Stöggl et al. (2006) vist i sprintlangrenn og Bilodeau et al. (1996) på lengre distanser, at de beste langrennsløperne har lengre sykluslengde i staking enn mindre gode langrennsløpere.

Musklenes kontraksjonshastighet og effektivitet

Ingen studier har vist korrelasjon mellom maksimal styrke og C, men flere studier har vist en bedring av C etter trening av maksimal styrke i en rekke utholdenhetsidretter. Hoff et al. (2002) har vist det i langrenn (staking), Støren et al. (2008) i løping og Sunde et al. (2009) på sykkel. Trening av maksimal styrke virker inn på en rekke faktorer som peak force (PF), time to peak forces (TPF), muskel -sene stiffness og samarbeidet muskulært mellom agonist og antagonist (Hoff et al. 2002, Støren et al. 2008, Sunde et al. 2009).

PF er den høyeste kraften (N) muskelfibre kan utvikle under en repetisjon av maksimal frivillig kontraksjon (Hoff et al. 2002). TPF er hvor fort en muskel har evne til å oppnå maksimal kraft, målt i tid (m/s) (Hoff et al. 2002). PF og TPF utgjør rate of force development (RFD). RFD utgjør muskelens effekt, som da vil si kraft per tid, målt i newton meter per sekund (Nm/s) (Kent 2006). RFD har i motsetning til maksimal styrke (1 RM) vist seg å korrelere med C (Støren et al. 2010). Ettersom PF vises i 1 RM vil det være muskelens evne til å trekke seg sammen fort (TPF) som direkte viser seg å være viktig for C. En kortere TPF kan blant annet gjøre avstegningstiden av kapillærene kortere (Hoff et al. 2002), og dermed forlenge MTT.

Blodgjennomstrømningen i muskelen blir begrenset allerede ved kontraksjoner på 15 % av maksimal kontraksjonskraft, og kan ved kontraksjon på 70 % av maksimal styrke føre til en fullstendig avstengning av kapillærene (Hoff et al. 2002). Ved å øke 1 RM gjennom trening trenger en ikke benytte seg av en like stor prosent av maksimal styrke for å opprettholde en gitt kraft. Siden musklene ikke må jobbe like hardt for å opprettholde samme kraft er det naturlig å tro at også O₂ behovet i musklene går ned, og dermed bedre C.

Støren et al. (2008) vist at maksimal styrketrening (knebøy 90grader, 4serier med 4 repetisjoner) på distanseløpere over 8 uker førte til en forbedring av 1RM (knebøy 90grader) med 33,2 % og løpsøkonomi med 5 %. Ettersom VO_{2max} og LT i % av VO_{2max} ikke endret seg, førte den 5 % bedre løpsøkonomien til 21,3 % økt tid til utmattelse på maksimal aerob hastighet (MAS). I langrenn har Hoff et al. (2002) viste at maksimal styrketrening som førte til en 9,9 % bedring av 1RM bedret stakeøkonomien med 27,5 % (målt i stakeergometer). Treninga førte videre til en bedring av tid til utmattelse med 34 %, når hastigheten blei økt gradvis.

Den prosentvise framgangen i 1RM utgjør ikke samme prosentvise framgang på C. Det ser ut til å være forskjeller på hvor stor økningen av 1RM utgjør i forhold til C mellom løping (Støren et al. 2008) og staking (Hoff et al. 2002). Men grunnen kan også være at det er vanskelig å måle nøyaktig økning i 1RM i en spesifikk bevegelsesform. Kanskje blir foreksempel ikke knébøy en like spesifikk



Høgskolen i Telemark

øvelse for løping som nedtrekk blir for staking. Dette kan virke inn på eventuelle korrelasjonsanalyser mellom 1 RM og C, da styrketestapparatet må være så spesifikt i forhold til for eksempel staking som mulig.

Mengde av repetisjoner øvd i spesifikk bevegelse (muskulært samspill)

Treningsmengde i et spesifikt bevegelsesmønster synes også å kunne påvirke C (Scrimgeour et al. 1986, Helgerud et al. 2001, McMillan et al. 2005). I McMillan et al. (2005) trente unge elite fotballspillere (Celtic U17-lag) 4x4min intervall med ball i ei dribbleløype. Mens i Helgerud et al. (2001) trente fotballspillere på samme alder som i McMillan et al. (2005) 4x4min løping på tredemølle. Begge gruppene trente på en intensitet på 90-95 % av Hf_{max} . Fotballspillerne i Helgerud et al. (2001) forbedra løpsøkonomien i løping på tredemølle med 6,7 %, mens spillerne i McMillan et al. (2005) som trente samme type intervall, men i ei dribbleløype, hadde ingen endring av løpsøkonomien ved løping på tredemølle. Dette viser at C bedres ved repeterte bevegelser i en spesifikk bevegelsesform.

Scrimgeour et al. (1986) har vist i et kartleggingsstudie på løping at de som løper flest km i uka har best løpsøkonomi. Og dermed støtter dette McMillan et al. (2005) som viser at antall repetisjoner av en spesifikk bevegelse har innvirkning på C. Men det er viktig å ta med at Scrimgeour et al. (1986) er et kartleggingsstudie av ulike løperes kapasitet. Der det vil være usikkerhet om hvordan de ulike løpernes løpsøkonomi er i utgangspunktet og om det er slik at de beste løperne også vil løpe flest km i uka fordi det koster dem minst og løpe.

Stiffness

Muskel- sene stiffness er også en faktor som ofte blir tatt med i diskusjonen om C (Støren et al. 2008 i løping). Spurrs et al. (2003) har vist at plyometrisk trening kan øke muskel- sene stiffness og at det er med på å bedre C i løping. Men det er usikkert om hvordan muskel- sene stiffness virker inn på C i staking. Når stavene settes i bakken blir de trykket bakover over en lengre periode og stavtaket blir avsluttet med at stavene slipper bakken uten at det blir noen spesielt store ”strikkefakter”, slik som i løping der de elastiske komponentene i muskel/seneapparat i ankel og leggmuskulatur strekkes i landingsfasen på en slik måte at du får en ”strikkeeffekt”. Men stivhet i de elastiske komponentene kan muligens virke inn på staking i maksimal (høy) hastighet, da stavene ofte strekkes høyere over hodet, slik at det oppnås et større strekk i de elastiske komponentene i blant annet teres major, latissimus dorsi, deler av delta muskulaturen og triceps, slik at det kan oppnås en elastisk lagret kraft som kan gjøre effekten i stavissettet større.

Muskelfibertyper

Muskelfibertype er en annen faktor som kan virke inn på C. Horowitz et al. (1994) testa ei gruppe med høy prosentandel type 1 fibre mot ei gruppe som hadde en mindre prosentandel type 1 fibre, på en 60min time trail på ergometersyssel. Det viste seg at den gruppa som hadde størst prosentandel type 1 fibre, hadde 9 % høyere gjennomsnittswatt under den 60min lange testen. VO_{2max} , VO_2 på LT (Laktat terskel) og treningsbakgrunnen på syssel var lik mellom gruppene. Det indikerer indirekte at prosentandelen av type 1 fibre kan ha betydning på efficiency. Hvorfor det er slik begrunnes med at type 1 fibre jobber mer optimalt i forholdt til kontraksjonshastigheten i musklene (Horowitz et al. 1994). Kontraksjonshastigheten på musklene vil naturligvis variere i staking i langrenn ettersom konkurransetiden på langrennskonkurranser varierer fra ca 2,5 min i sprint til over 4t i Vasaloppet (Langrenn.com 2010, Vasaloppet.se 2010). En kan tenke seg at en større andel muskelfibertype 2 vil være mer optimalt for prestasjonen i sprint, siden type 2 muskelfibre har en større evne til kraftutvikling (Costill et al. 1976). Imidlertid er det fortsatt en svært lav prosentdel av 1RM som benyttes i hvert stavgang selv i sprintlangrenn.

Trøtthet

Trøtthet i konkurranser kan oppstå pga flere ulike faktorer, forhøyet kroppstemperatur, dehydrering, forhøyede melkesyrekonentrasjoner, dårligere ionebalanse (spesielt kalsium og kalium) og redusert nervøs evne til å aktivere muskler. Trøtthet kan dermed oppstå under både korte og lange utholdenhetskonkurranser (Gandevia 2001, Åstrand et al. 2003).

Zamparo et al. (2005) målte energikostnaden i svømming på slutten av en 2km svømmetest og sammenligna resultatene med energikostnaden på forskjellige svømmehastigheter. Energiforbruket på slutten av den 2km lange svømmetesten viste seg å være 21 % større enn gjennomsnittlig energiforbruk målt ved 400m svømming i tilsvarende hastighet. Trøtthet kan derfor være en faktor som også spiller inn på stakingøkonomi og prestasjonen i staking. I staking arbeider overkroppsmusklene mest intensivt (Holmberg et al. 2005), overkroppen består selv hos en elite langrennsløper av en stor andel type 2 muskelfibre (Terzis et al. 2006) og som tidligere nevnt har type 1 muskelfibre større motstandsdyktighet mot muskeltrøtthet enn type 2 fibre. Ivy et al. (1980) har i tillegg vist at tømning av muskel glykogenlagrene fører til en dårligere C, og siden type 1-fibre har en bedre evne til fettoksidasjon enn type 2 fibre (Stisen et al. 2006), vil det igjen være en fordel med en høy andel av muskelfibertype 1.

Antropometriske variabler

I løping er body mass index, tykkelse og lengde på leggbein variabler som er med på å bestemme den ekstreme løpsøkonomien til mange øst afrikanske løpere (Larsen 2003, Lucia et al. 2006). Dette pga



forskjeller når det gjelder vektarm. Jo tyngre ankel, jo tyngre blir det å pendle beinet i løping. I staking er det ikke en pendelbevegelse på samme måte. Men selvfølgelig kan senefester over ledd og lengder på knokler virke inn på momentkreftene. Stöggl et al. (2010) har vist at kroppsmasse men ikke kroppshøyde korrelerte positivt med stakeprestasjonen, spesielt fettfri masse i overkroppen viste seg og være positivt relatert til stakeprestasjonen.

Laktatterskel

Laktat terskel (LT) vil si den intensiteten der det er likevekt mellom produksjon og eliminasjon av laktat (Kent 2006). LT uttrykkes korrekt som prosent av VO_{2max} . Ofte oppgis også arbeid ved LT, gjerne i km/t eller watt (Wiswell et al. 1999, Larson 2006, Helgerud et al. 2007, Sunde et al. 2009).

LT i prosent av VO_{2max} varierer avhengig av aktivitetsform. Gjennomsnittsverdien ligger fra ca 80 -85 % av VO_{2max} i løping (Støren et al. 2008, Helgerud et al. 2009). Sunde et al. (2009) har vist 77 % av VO_{2max} på sykkel (tabell 1). I Sharkey (1984) er det rapportert en variasjon i LT verdier på ca 10 % av VO_{2max} hos utøvere på US National Cross Country Team. Noe som viser at LT i prosent av VO_{2max} kan varigere relativt mye blant enkelte også innen samme idrettsgren eller bevegelsesform.

Tabell 1. Laktat terskel oppgitt i % av VO_{2max} og Hf_{max}

Studie	Aktivitet	LT (% VO_{2max})	LT (% Hf_{max})
Helgerud et al. 2009	Løping	83 %	80 %
Støren et al. 2008	Løping	85 %	81 %
Sunde et al. 2009	Sykkel	77 %	76 %
Sharkey (1984)	Langrenn	86 %	82 %

Tabellen viser gjennomsnittsverdier for LT % i ulike studier, og i ulike bevegelsesformer.

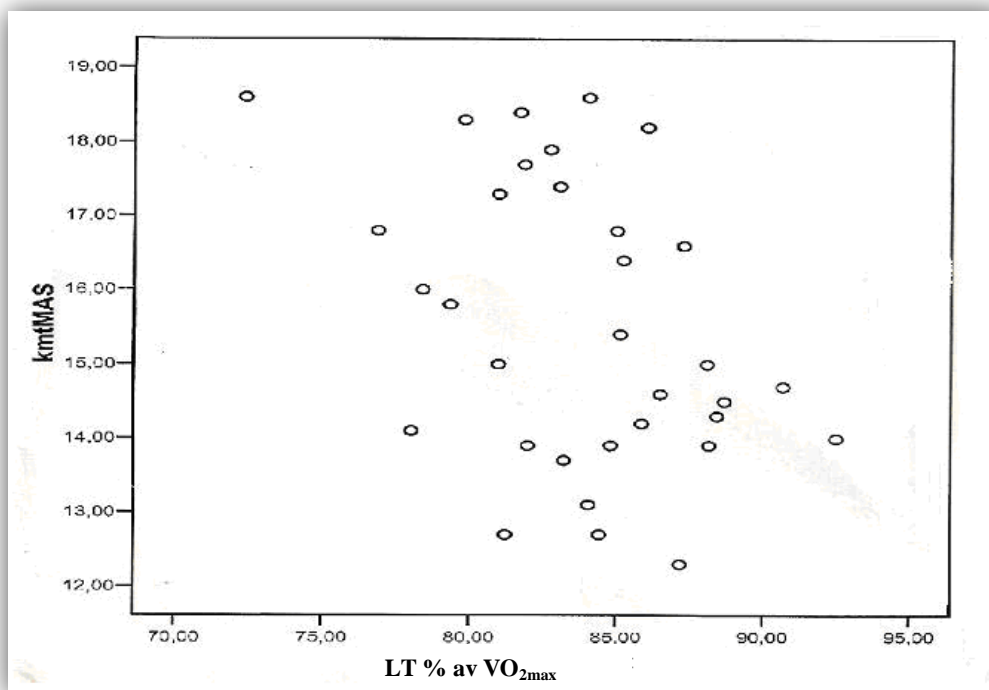
Løpere som deltok i studiene til Støren et al. (2008) og Helgerud et al. (2009), ble både testet for LT og for maksimal aerob hastighet (MAS). LT i prosent av VO_{2max} korrelerte ikke med MAS (figur 6) og heller ikke med tidsprestasjon i løp på 5000m. MAS bestemmes av VO_{2max} og C og er et således godt mål på aerob utholdenhetskapasitet.

Det ser heller ikke ut til at LT (% VO_{2max}) forandrer seg nevneverdig med trening (Bangsbo 1994, Helgerud et al. 2001, Hoff et al. 2002, Helgerud et al. 2007). Ettersom LT dermed vil ligge på en relativt uforandret prosent av VO_{2max} hos utholdenhetsutøvere, vil økt VO_{2max} eller bedret C føre til økt terskelfart og eller terskelwatt. For eksempel har Helgerud et al. (2001) vist at en periode med intensiv aerob intervalltrening førte til en forbedring av VO_{2max} fra 58,1 til 64,3 $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, mens VO_2 på LT

økte fra 47,8 til 55,4 mL·kg⁻¹·min⁻¹. LT (% av VO_{2max}) var dermed den samme. I sykling på utrente personer fant imidlertid Shono et al. (2001) endring i LT % etter trening. Ivy et al. (1980) viste en LT % på 54,2 hos utrente på sykkel, der det også var store variasjoner blant personene i studien (range fra 38,5-64 %). At utrente gjennomsnittlig har en lavere LT enn trente kan enten skyldes at utholdenhetstrening over flere år faktisk øker LT, eller det kan skyldes at personer med en medfødt høy LT typisk velger å delta i utholdenhetsidretter.

Variasjoner i LT mellom ulike aktiviteter ser ut til å kunne være avhengig av hvor stor muskelmasse som er i bruk (eksempelvis forskjeller i gjennomsnittlig LT hos syklister og løpere i tabell 1) og om det er snakk om overkropp eller underkroppsmuskulatur (Ivy et al. 1980, Rusko 2003, Terzis et al. 2006).

LT i prosent av VO_{2peak} i staking kan dermed tenkes å være noe dårligere enn i løping og sykling. Overkroppen har en mindre total muskelmasse og større overvekt av muskelfibertype 2, mens beina har en større total muskelmasse og større andel av muskelfibertype 1. (Terzis et al. 2006). Ivy et al. (1980) viser at utøvere med en høy andel av muskelfibertype 1 har signifikant høyere LT i % av VO_{2max} enn utøvere med en stor andel av muskelfibertype 2 målt på sykkel.



Figur 6. Sammenheng mellom maksimal aerob løpshastighet (MAS) og LT i % av VO_{2max} (Data fra Støren et al. 2008 og Helgerud et al. 2009).

Opphopningen av laktat vil være avhengig av intensiteten over LT og hvor lenge det jobbes over LT (Åstrand et al. 2003). Ettersom opphopningen av laktat skjer gradvis, vil det være mulig å drive

trening og konkurranser over LT i en viss tid, i hvert fall en time (Myburgh et al. 2001). Bosch et al. (1990) viser videre at gode maratonløpere kan løpe maraton på en intensitet rundt LT. Til høyere LT er i prosent av VO_{2max} til høyere prosentvis intensitet av VO_{2max} kan du ligge på gjennom en langvarig konkurranse, slik som maraton. Det kan være en av grunnene til at Bosch et al. (1990) har vist at variasjoner i LT i prosent av VO_{2max} har vist seg å korrelere med utholdenhetsprestasjoner på lengre løp og nettopp maraton. Dermed kan du med høyere LT utnytte mer av din maksimale aerobe kapasitet over lengre løp. Studier har også vist at en stor opphopning av melkesyre fører til dårligere C og nedgang i intensitet (Davies 1985, Brooks 1986, Hoff et al 2010 in progress).

Hastighet (km/t) (terskelfart) og watt på LT (terskelwatt) har naturlig nok vist seg å korrelere sterkt med en aerob utholdenhetsprestasjon over både kortere og lengre løp (Kenefick et al. 2002, Støren et al. 2008). Dette er ikke overraskende siden denne hastigheten vil vær avhengig først og fremst av VO_{2max} og C (Pate and Kriska 1984, Di Prampero et al 2003, Helgerud et al. 2007).

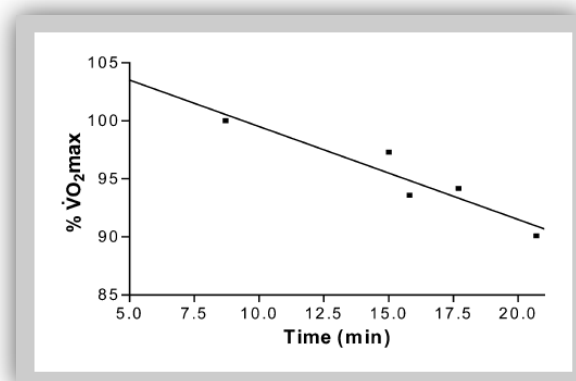
Costill et al. (1973) viste ingen sammenheng mellom maksimal laktat konsentrasjon og prestasjonen i distanseløping (16,09km). Den høyeste laktatkonsentrasjonen som oppnås for utøvere i konkurranse har heller ingen direkte korrelasjon med prestasjonen. Blant annet på bakgrunn av at C går ned ved stor opphopning av melkesyre (høye laktatverdier). Men høye laktatverdier kan selvfølgelig ha en viss innvirkning på prestasjonen, særlig på slutten av løp. Da laktatverdiene er et mål på melkesyrekonsentrasjonen, og dermed kan si noe om hvor hardt utøveren presser seg og/eller evne til anaerob energiomsetning.

Utnyttingsgrad

Utnyttingsgrad vil si hvor høy prosentdel av VO_{2max} en utøver kan ligge på over en periode (Costill et al. 1973). Ved løping på gitte hastigheter, har Costill et al. (1973) vist at løpere med høyere VO_{2max} , ligger på en langt lavere prosentandel av VO_{2max} sammenligna med løperne med lavere VO_{2max} . Naturlig nok, ettersom det kreves et visst oksygenopptak på enhver belastning, og de med høyere VO_{2max} vil ha flere prosent opp til sitt maksimale oksygenopptak. Da er det naturlig at også Costill et al. (1973) viste at oksygenopptaket i % av VO_{2max} ved løping på for eksempel 268m/min korrelerte med en løpstid på et 16,09km (10 miles) testløp. Hvor nær en utøver kan ligge sin VO_{2max} i løpet av en konkurranse har vist seg å kunne varigere i forhold til konkurransens varighet. Costill et al. (1973) viste at utnyttingsgraden på det 16,09km lange løpet varierte fra 80-91 % av VO_{2max} . Den raskeste løperen på testløpet brukte 48,9 min mens den treigeste brukte 67,8min.

På 5000m kan de beste løperne i Norge og i verden utnytte nesten 100 % av sin VO_{2max} (Davies & Thompson 1979, Støa et al 2010). Foster og Lucia (2007) viser at løpere som løper 10km på tilnærmet 28min viste seg å utnytte 90-95 % av VO_{2max} . På maraton vil utnyttingsgraden være langt lavere, ca 85 % (Bosch et al. 1990). Men Bosch et al. (1990) viser også til upubliserte data der en afrikansk elite maratonløper utnyttet 91 % av VO_{2max} når han løp på 2,08 på maraton.

Utnyttingsgraden utøvere har kapasitet til og oppnå ser ikke ut til å være av betydning på kortere løp, der den kun er et produkt av konkurransetiden (Støa et al. 2010, figur 7), men den får en betydning ved en konkurransetid på rundt 30 min og ser ut til å bli viktigere til lengre konkurransevarigheten er. VO_{2max} og C vil være faktorer som er med å bestemme utnyttingsgraden, fordi høyere VO_{2max} og bedre C vil føre til en kortere konkurransetid på en gitt distanse og derfor vil de beste utholdenhetsutøverne ofte ha en bedre utnyttingsgrad enn mindre gode utøvere. Larsen (2003) har vist at godt trente utøvere har evne til å utnytte en svært høy prosentdel av VO_{2max} . Overført til langrenn kan man således anta at utnyttingsgraden er uten betydning på langrennsprint mens den spiller en rolle i lange løp som Vasaloppet. I staking vil utnyttingsgraden være dårligere enn i løping dersom den måles opp mot VO_{2max} i løping, men teoretisk den samme som i løping hvis den måles opp mot VO_{2peak} i staking.



Figur 7. Sammenhengen mellom løpstid og utnyttingsgrad (% VO_{2max}). Figuren er hentet fra Støa et al. (2010), og viser resultater fra Lacour et al. (1990) Støa et al. (2010), Davies and Thompson (1979), Ramsbottom et al. (1987), og Ramsbottom et al. (1992).

Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak ved staking

Alle bevegelser har sin spesifikke VO_{2peak} . VO_{2peak} er forskjellig mellom sykkel, løp, og i ulike skiteknikker, der i blant staking (Hoff et al. 2002, Nilsson et al. 2004). Hoff et al. (2002) og Nilsson et al. (2004) har vist at VO_{2peak} i staking (stakeergometer) ligger på 84 % og 86 % av VO_{2max} i løping. Ettersom VO_{2max} er den viktigste prestasjonsbestemmende faktoren for utholdenhetsprestasjon i en heterogen gruppe (Costil et al. 1973), vil det være fordel å ha en høy VO_{2peak} i staking som ligger så nærme VO_{2max} målt i løping eller diagonalgang som mulig. Ved å utnytte en større del av sitt maksimale oksygenopptak i staking, bør man teoretisk kunne øke prestasjonen i staking. Calbet et al. (2004), Calbet et al. (2005), Björklund et al. (2010) viser alle at overkroppsmuskulatur og armer har en

Høgskolen i Telemark

dårligere evne til å utnytte oksygen enn beina ved diagonalgang og ikke minst staking. Larson (2006) viser også at hjertefrekvensen ved staking er signifikant lavere enn ved løping. Ettersom Zhou et al. (2001) viser at hjertes slagvolum øker jevnt med økende hjertefrekvens hos godt trente personer vil også minuttvolumet være lavere i staking. Dette kan være med på å forklare litt av hvorfor VO_{2peak} i staking ligger 14-15 % under VO_{2max} målt i løping.

Bjørngen et al. (2009) viste på KOLS-pasienter at et beins intervallsykling bedret VO_{2peak} i et beins sykling signifikant bedre enn hva intervallsykling med to bein gjorde. Blodstrømmen blir alltid regulert i forhold til arbeidende muskulatur (Calbet et al. 2004). Derfor vil denne studien se på om trening med høy blodstrøm til stakemuskulaturen vil øke VO_{2peak} i staking og om treningen vil øke evnen til å utnytte mer av kroppens maksimale aerobe kapasitet ved staking (økt utnyttning av VO_{2max}). Videre vil denne studien se på hvordan dette virker på stakeprestasjonen. Nilsson et al. (2004) har vist at 6-7,5 ganger 3min intervalltrening i stakeergometer økte VO_{2peak} i staking målt i stakeergometer.

I vår studie skulle det trenes 4 x 4 min stakeintervalltrening på rulleskimølle 3 ganger i uka i 6 uker. Hypotesen var at denne typen trening vil øke VO_{2peak} i staking og bedre utnyttningen av VO_{2max} . Beinbevegelse her vil trolig også være mer naturlig enn hva som er tilfelle ved staking i ergometer, som vist i Nilsson et al. (2004). Dersom VO_{2max} i løping skulle øke etter 4 x 4min stakeintervall tyder det på at intensiteten ved stakeintervall er så høy at den øker hjertes slagvolum. Eventuelle endringer i VO_{2peak} kan sammenlignes med resultatene i studiene til Helgerud et al. (2001), Billiat et al. (2002), Nilsson et al. (2004), McMillan et al. (2005) og Helgerud et al. (2007). Spesielt vil studiet til Helgerud et al. (2007) være sammenlignbart da dette er gjort på samme type trening, 4x4min med samme frekvens, 3 ganger i uka. Det vil også bli testet stakeøkonomi i denne studien ettersom antall repetisjoner i en spesifikk aktivitetsform kan endre C (Scrimgeour et al. 1986, Helgerud et al. 2001, McMillan et al. 2005).

Problemstilling

Vil høyintensiv aerob intervalltrening utført som staking på rulleskimølle øke VO_{2peak} , utnyttningen av VO_{2max} ved staking, stakeøkonomi og stakeprestasjonen?

METODE

Forsøkspersoner

18 konkurranseløpere var med ved start av studien. 16 av disse (alder på 25 ± 9 år og VO_{2max} på $69,3 \pm 9,0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) gjennomførte studien (tabell 2). 9 personer (2 kvinner, 7 menn) var i intervensjonsgruppa, mens 7 menn var i kontrollgruppa. To personer i intervensjonsgruppa ble imidlertid syke på testdag 2 av posttest og fikk dermed ikke gjennomført VO_{2max} løping og 3 km staketest (post). Forsøkspersonene skrev frivillig under på egenerklærings skjema, samtykkeskjema og infoskriv, på bakgrunn av sin kjennskap til prosjektet. Prosjektet, samtykkeerklæringen og infoskrivet var godkjent av regional etisk komité i Helse Sørøst. All testing og trening i forbindelse med studien ble gjennomført fra oktober til desember.

Tabell 2. Opplysninger om forsøkspersonene (n = 16: - 14 menn og 2 kvinner).

Variabler	Intervensjon gruppe n = 9	Kontroll gruppe n = 7	Begge grupper n = 16
Alder (år)	27 ± 12	22 ± 3	25 ± 9
Vekt (kg)	$75,5 \pm 9,7$	$77,4 \pm 5,6$	$76,3 \pm 8,0$
Høyde (cm)	180 ± 9	185 ± 5	182 ± 8
VO_{2max} Løp ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	$67,4 \pm 11,4$	$71,6 \pm 3,9$	$69,3 \pm 9,0$
VO_{2max} Løp ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-0,67}\cdot\text{min}^{-1}$)	$272,5 \pm 38,9$	$299,5 \pm 17,7$	$284,3 \pm 33,6$
VO_{2peak} Staking ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	$51,6 \pm 9,6$	$58,1 \pm 7,2$	$54,4 \pm 9,0$
VO_{2peak} Staking ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-0,67}\cdot\text{min}^{-1}$)	$214,6 \pm 38,4$	$243,9 \pm 31,5$	$227,4 \pm 37,5$

Verdier er fra pretest og oppgitt som gjennomsnitt \pm SD. VO_{2max} = maksimalt oksygenopptak målt i løping.
 VO_{2peak} = peak oksygenopptak målt i staking.

Utstyr

All staking i forbindelse med studien ble gjennomført på Rodby RL2500E (Rodby Innovation AB, Hagby, Vänge, Sverige) rulleskimølle for klassisk teknikk, med båndbredde 1000mm og båndlengde 2500mm. Rulleskimølla var kalibrert for stigning og hastighet. Forsøkspersonene brukte laboratoriets egne Swenor Fibre Glass rulleski med hjultype 2, for å hindre at variasjoner mellom rulleski kunne påvirke testresultatene. Det var to par like rulleski med henholdsvis Rottefella binding (NNN) og Salomon binding (SNS), slik at alle kunne bruke sine egne skisko. Stavspisser som ble brukt var fra Biomekanikk AS (Oslo, Norge).

Løping ble gjennomført på Woodway PPS 55 sport (Waukesha, Tyskland) tredemølle, som var kalibrert for stigning og hastighet. VO_2 ble målt med oksygenanalysatoren, Sensor Medics Vmax Spectra (Sensor Medics 229, Yourba Linda, CA, USA). Laktatmålinger ble tatt i en fingertupp med en Arcray Lactate Pro LT-1710 analysator (Arcray Inc. Kyoto, Japan). Laktatmåleren ble kalibrert før testing med to kunstige standardiserte laktatprøver. Hf ble målt med en Polar s610 pulsklokke (Polar

Oy, Kempele, Finland). Alle personene veide seg på ei digital vekt (Tefal Compliss, Frankrike) før testing.

Testprotokoll

Testinga foregikk over to dager. Testdag 1 bestod av stakeøkonomi og VO_{2peak} i staking (figur 8).

Testdag 2 bestod av VO_{2max} i løping og en 3km prestasjonstest i staking (figur 9).

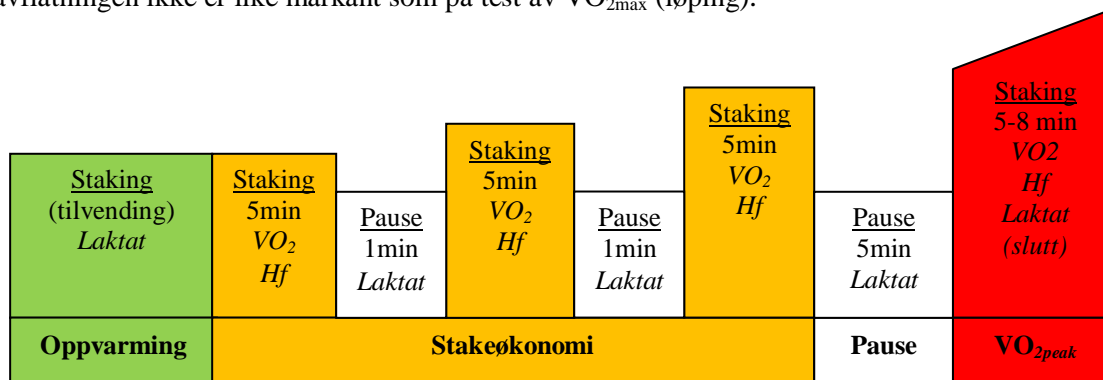
På begge testdager ble forsøkspersonene veid, høyde ble registrert (kun testdag 1) og kontroll av stavmerke og stavlengder ble gjennomført, for å kontrollere at samme staver ble brukt på pre og posttest. Stavlengder kan påvirke stakeøkonomien (Nilsson et al. 2003). Samme testprotokoll ble gjennomført på pre og posttest.

Test dag 1. Forsøkspersonene gjennomførte en standard oppvarming i staking på rulleskimølle for klassisk stil. De brukte oppvarmingen til å tilvende seg rulleskimølla. Laktat ble målt etter oppvarming. Når de følte seg komfortable med å stake på rulleskimølla startet de med første test, som var test av stakeøkonomi. Test av stakeøkonomi ble gjennomført på 4 % stigning. Der ble det staket 5 min på tre forskjellige individuelle hastigheter. Første hastighet ble valgt ut fra en vurdering av nivået på forsøkspersonene. De to påfølgende hastighetene ble gjennomført på en hastighet som var 1,5km/t høyere enn forrige hastighet. Mellom hastighetene var det 1 minutt pause til måling av laktat, som ble målt umiddelbart etter hvert belastning. LT var tenkt bestemt på bakgrunn av disse submaksimale verdiene. Imidlertid ble dette ikke beregnet pga høye oppvarmingslaktatnivåer.

Ved staking på de tre forskjellige hastighetene ble Hf registret etter 3,5min, mens VO_2 ble målt etter 4min, 4,20min og 4,40min, etter protokoll av Helgerud et al. (2009) og McMillan et al. (2005). Gjennomsnittelig VO_2 måling på hver av de tre hastighetene ble plottet inn i et selvkomponert skjema der en gjennom en regresjonslinje kunne komme fram til VO_2 (stakeøkonomi) på 70 % av VO_{2peak} målt i staking. Stakeøkonomien i dette studiet er da målt på 70 % av VO_{2peak} .

Test av VO_{2peak} i staking ble gjennomført 5min etter avsluttet stakeøkonomitest. Testen ble gjennomført etter en inkrementell protokoll (gradvis økning av stigning og hastighet). Stigningsprosenten på mølla var 4 % ved testtart. Den ble økt med 1 % hvert halve minutt til ønsket stigning ble oppnådd. Deretter økte hastigheten for hvert halve minutt til frivillig utmattelse. Målinger av VO_2 ble registrert for hvert 20. sekund. Hf ble registrert kontinuerlig, mens laktat ble målt umiddelbart etter test.

Kriteriet for å ha nådd VO_{2peak} med tanke på respiratorisk exchange ratio (R) på testene, R over 1,0, da R i staking ser ut til å være noe lavere enn i løping (erfaringer fra eget laboratorium). Varigheten på testene varierte mellom 6 og 9 min. Laktat var på tilnærmet $10 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$ eller mer, som er tegn på utmattelse. En relativt god avflatning av VO_2 -kurven, men erfaringer fra egen lab tilsier at avflatningen ikke er like markant som på test av VO_{2max} (løping).



Figur 8. Testprotokoll – test dag 1: Oppvarming/tilvending, test av stakeøkonomi (3 x 5min) og VO_{2peak} , med tidsvarighet (min) på de ulike delene samt testvariabler (VO_2 , Hf, Laktat).

Test dag 2. Forsøkspersonene gjennomførte en standard oppvarming (15-20min) med løping på tredemølle. Laktat ble målt etter oppvarming. Første test var VO_{2max} i løping. Testen ble gjennomført etter en inkrementell protokoll. Stigningsprosenten ved test start varierte fra 5-7 %. Først ble stigningsprosenten på mølla økt med 1 % vert halve minutt til ønsket stigning ble oppnådd. Deretter økte hastigheten for hvert halve minutt til frivillig umattelse. Målinger av VO_2 ble registrert for hvert 20. sekund. Hf ble registrert kontinuerlig, mens laktat ble målt umiddelbart etter test. Varigheten på testene varierte fra 4,5-7 min. $R \geq 1,1$, avflating av VO_2 -kurven, $Hf \geq 97$ % av forventet maksimal hjertefrekvens, laktatkonsentrasjon på $\geq 8 \text{ mMol}\cdot\text{L}^{-1}$, og frivillig utmattelse ble brukt som indikasjoner på at VO_{2max} var nådd.

VO_{2max} testen ble etterfulgt av en 40 min pause. Deretter var det 10 min oppvarming med staking på rulleskimølla, fram mot en prestasjonstest i staking. Laktat ble målt etter oppvarming.

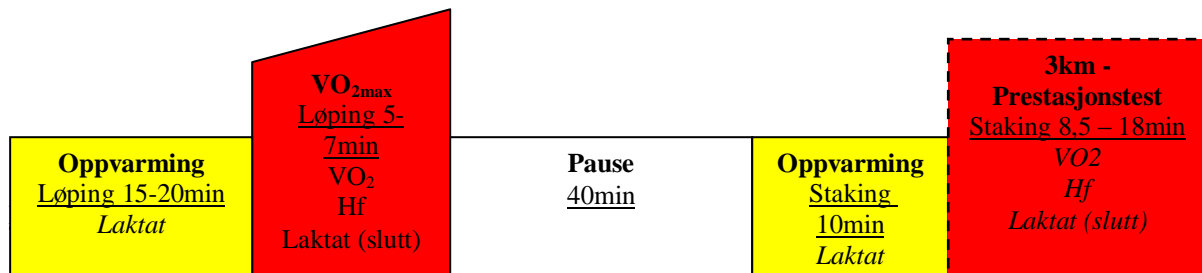
Prestasjonstesten var en 3 km staketest (time trial) på rulleskimølle med 4 % stigning.

Forsøkspersonene ble kjørt opp i en hastighet tilnærmet den de ut fra deres individuelle nivå kunne tenkes å kunne holde gjennom den 3 km lange testen. Forsøkspersonene ga tegn med tommel opp/pekefinger ned eller nikk/risting på hodet kontinuerlig gjennom hele testen om hastigheten skulle økes eller senkes. Gjennom testen fikk utøverne tilbakemeldinger om når de hadde passert 1000m og 2000m. Deretter fikk de gradvis nedtelling for hver hundrede meter. Samt for hver tiende meter siste 100m. Forsøkspersonene fikk ikke vite tiden de hadde brukt underveis i testen. VO_2 ble målt hvert 20 sek mens Hf ble registrert hvert min, for å se på utnytningsgraden i prosent av VO_{2peak} og Hf_{peak} (i staking) gjennom staketesten. Måling av VO_2 og Hf ble tatt fra 3 min ut i testen til testslutt.



Høgskolen i Telemark

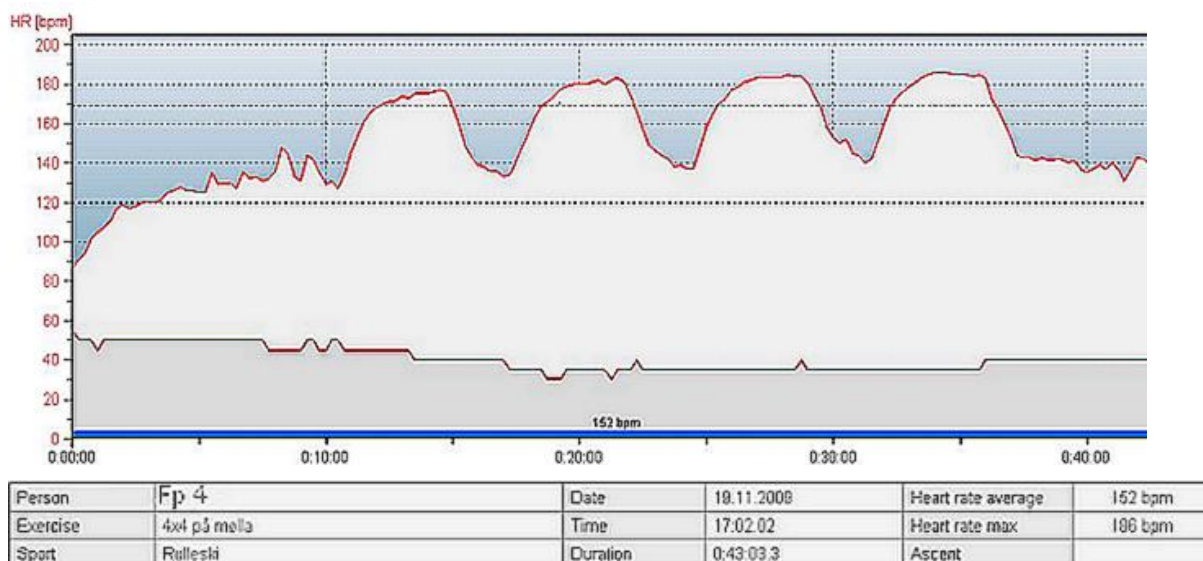
Laktatprøve ble tatt direkte etter testslutt. I kontrollgruppa slet en person med brekninger pga munnstykket under testen på både pre og post- test. Testen ble derfor kjørt delvis uten tilkobling til O₂- analysatoren for denne personen, og derfor er resultater fra 3- km staketesten oppgitt med n = 6 i kontrollgruppa. Høyeste oppnådde VO_{2peak} ut fra både staketesten og VO_{2peak} -testen ble satt som VO_{2peak} i staking i studien.



Figur 9. Testprotokoll – test dag 2: VO_{2max} test løp og 3km staketest, med tidsvarighet (min) på de ulike delene samt testvariabler (VO₂, Hf, Laktat).

Trening og kriterier

Intervensjonsgruppa (n = 9) trente 4x4 min stakointervall på rulleskimølle 3 ganger i uka i 6 uker. Intensiteten på treningene var over 90 % av Hf_{peak} målt i staking. Hf_{peak} i staking ble satt til høyeste målte hjertefrekvens (Hf_{peak}) i staking på pretest pluss 3 slag. Treningsøktene ble gjennomført med en standard oppvarming på 10 -15min og med en 3-5min nedgåing etter økta. Hildebrandt et al. (1992) har vist at melkesyreverdiene går raskere tilbake til hvileverdi ved en viss blodgjennomstrømning etter endt fysisk hard belastning. Antall minutter over 90 % av Hf_{max} i staking ble notert. Eksempel på ei intervalløkt kan ses i figur 10.



Figur 10. Pulscurve fra ei stakointervalløkt for Fp 4. Hf_{max} i staking for denne personen er beregnet til 188 slag pr min, mens 90 % av samme verdi er 169.

Kontrollgruppa trente sin vanlige langrennstrening i 6 uker i samme periode som intervensjonen foregikk.

Inklusjonskriteriene for intervensjonsgruppa var at 75 % av alle treningsøktene ble gjennomført for at testresultatene kunne godkjennes i studien. Inklusjonskriteriene for kontrollgruppa var maksimalt 5 dager med sykdom. Det samme var gjeldene for intervensjonsgruppa. En person i kontrollgruppa greide ikke å oppfylle inklusjonskriteriene i forhold til sykdom og blei tatt ut av studien.

Alle personene i både intervensjonsgruppa og kontrollgruppa registrert all fysisk trening fra 6 uker før pretest, til posttest var gjennomført. Treningsaktiviteter som rulleski, ski, løping, sykling osv ble skrevet ned. All utholdenhetstrening ble fordelt inn i tre intensitetssoner ut fra Hf_{max} : Sone 3: over 90 %, Sone 2: 85 - 90 %, Sone 1: under 85 %. Sonene ble valgt ut fra hvilke intensitet VO_{2max} påvirkes (Billiat et al. 2002, Helgerud et al. 2007, Wisløff et al. 2007). Styrketrening ble også notert ned, ettersom Hoff et al. (2002) har vist at denne type trening kan påvirke stakeøkonomien.

Allometrisk skalering

Energiforbruk som brukes for å forflytte kroppsvekt er forskjellig avhengig av hvordan en forflytter seg (Bergh 1987, Bergh et al. 1991). I langrenn har Bergh (1987) beregnet best sammenheng med VO_{2max} og prestasjonen hvis kroppsvekt opphøyes i 0,67. I dette studiet blir derfor oksygenopptak oppgitt i skalert vekt, $mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$, samt i $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ og $L \cdot min^{-1}$.

Statistisk analyse

Deskriptiv statistikk ble brukt for å finne gjennomsnittstall med standard avvik (SD). Paret t-test ble brukt for beregning av signifikante forandringer fra pre- til posttest og uparet t-test ble brukt for beregning av relative forandringer mellom gruppene. Pearsons korrelasjonsanalyse ble brukt for korrelasjonsanalyser. I alle tester ble signifikansnivået satt til $p \leq 0,05$. For alle disse analysene ble det brukt SPSS versjon 16. Microsoft Exel (versjon 2007, Windows Vista) ble brukt til lineær kurveregresjon.

RESULTATER

Under den 6 uker lange intervensjonen gjennomførte intervallgruppa $14,4 \pm 2,3$ (80 %) av 18 intervalløkter (range fra 12-17). Intervensjonsgruppa og kontrollgruppa trente i gjennomsnitt henholdsvis $6 \pm 4,3$ timer og $8,8 \pm 4,4$ timer i uka i perioden før pretest. Det var ingen signifikant forskjell i treningsmengde og intensitetsfordeling før og under intervensjonsperioden, for verken intervensjonsgruppa eller for kontrollgruppa når det gjaldt utholdenhetstrening og styrketrening. Forskjellen var at mer av den høyintensive treninga ble gjennomført som staking. Mengden utholdenhetstrening og treningstid i ulike treningssoner, samt styrketrening og annen trening er presentert i tabell 3.

Tabell 3. Treningsfordeling av utholdenhetstrening i ulike intensitetssoner, styrketrening og annen trening før og under intervensjonen.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)		Kontrollgruppe (n = 7)	
	Pre intervensjon	Under intervensjonen	Pre intervensjon	Under intervensjonen
Sone 1	251 ± 173	203 ± 89	382 ± 210	346 ± 188
Sone 2	44 ± 62	47 ± 63	36 ± 38	31 ± 46
Sone 3	24 ± 32	29 ± 20	47 ± 33	40 ± 26
Styrke	40 ± 35	38 ± 40	58 ± 50	84 ± 71
Hurtighet/spenst	0 ± 0	1 ± 2	2 ± 5	2 ± 5
Sum pr uke	359 ± 260	318 ± 195	525 ± 263	502 ± 2

Verdier er gjennomsnitt ± SD. Treningstid fordelt i minutter før og under intervensjonsperioden for intervensjon og kontrollgruppa. Utholdenhetstrening er fordelt i soner i prosent av Hf_{max} . Sone 1: under 85 %, Sone 2: 85 – 90 %, Sone 3: over 90 %.

Etter 6 uker med 4x4min høy- intensiv stakointervalltrening var det en signifikant bedring av VO_{2peak} i staking oppgitt som $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (5,6 %), $mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$ (6,2 %) og $L \cdot min^{-1}$ (7,2 %). Ingen signifikant endring ble funnet i kontrollgruppa i VO_{2peak} under denne perioden (tabell 4). Treningen førte også til signifikant bedring av prestasjonen på den 3 km lange staketesten med 19,7 % (tabell 4). Kontrollgruppa hadde også en signifikant bedring av tiden på staketesten med 3,5 %, men det var en signifikant større bedring i intervallgruppa enn kontrollgruppa (tabell 4). Intervensjonsgruppas VO_{2peak} i staking kom 8,1 % nærmere VO_{2max} i løping (tabell 5). Det var ingen signifikant økning av utnyttingsgraden på 3 km staketest målt i % av VO_{2max} eller i % av Hf_{max} i verken intervensjon eller kontrollgruppa. Videre var det ingen endringer i VO_{2max} (løp), stakøkonomi, Hf_{peak} (staking), Hf_{peak} (løping), La_{peak} (staking), La_{peak} (løping) eller i kroppsvekt i noen av gruppene (tabell 4).

Høgskolen i Telemark

Tabell 4. Fysiologiske resultater fra intervensjonsgruppa og kontrollgruppa.

	Intervensjon gruppe (I)			Kontroll gruppe (K)		
	n	Pre- test	Post- test	n	Pre- test	Post- test
Vekt (kg)	9	75,5 ± 9,7	76,4 ± 9,1	7	77,4 ± 5,6	77,1 ± 4,6
VO_{2peak} - staking						
mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	9	51,6 ± 9,6	54,5 ± 9,8*	7	58,1 ± 7,2	57,7 ± 7,2
mL·kg ^{-0,67} ·min ⁻¹	9	214,6 ± 38,4	228,0 ± 31,5*	7	243,9 ± 31,5	250 ± 34,4
L·min ⁻¹	9	3,88 ± 0,80	4,16 ± 0,70*	7	4,50 ± 0,67	4,60 ± 0,70
VO_{2max} - løping						
mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	7	67,4 ± 11,4	63,3 ± 8,8	7	71,6 ± 3,9	71,2 ± 4,2
mL·kg ^{-0,67} ·min ⁻¹	7	272,5 ± 38,9	261,8 ± 35,7	7	299,5 ± 17,7	298,1 ± 20,0
L·min ⁻¹	7	4,83 ± 0,94	4,69 ± 0,82	7	5,49 ± 0,48	5,46 ± 0,51
C staking 70 %						
mL·kg ⁻¹ ·m ⁻¹	9	0,215 ± 0,046	0,191 ± 0,01	7	0,199 ± 0,042	0,206 ± 0,022
mL·kg ^{-0,67} ·m ⁻¹	9	0,899 ± 0,213	0,798 ± 0,05	7	0,838 ± 0,176	0,864 ± 0,951
3km staketest						
Tid (sek)	7	833,6 ± 175,7	669,6 ± 101,6**###	7	710 ± 106,7	685,0 ± 95,0*
% VO _{2peak}	7	88,1	92,3	6	89,1	89,4
% Hf _{peak}	7	93,4	95,6	6	95,1	96,2
Hf_{peak}						
Løping	7	186 ± 12	186 ± 12	7	190 ± 6	188 ± 7
Staking	7	182 ± 12	183 ± 11	7	184 ± 7	185 ± 11
Laktat_{peak}						
Løp (mMol·L ⁻¹)	7	10,0 ± 1,3	10,9 ± 1,8	7	13,1 ± 2,2	12,3 ± 2,4
Staking (mMol·L ⁻¹)	7	10,3 ± 1,2	11,9 ± 2,0	7	12,5 ± 1,3	12,5 ± 2,4

Verdier er gjennomsnitt ± SD. Vekt er fra test dag 1. VO_{2max} = maksimalt oksygenopptak, VO_{2peak} = peak oksygenopptak, C staking = stakeøkonomi, Hf_{peak} = peak hjertefrekvens. C staking 70 % = C målt på rulleskimølle på 70 % av VO_{2peak} med 4 % stigning. 3km staketest = 3km distansetest på rulleskimølle med 4 % stigning. % VO_{2peak} og % Hf_{peak} = utnyttingsgrad på staketesten målt i prosent av VO_{2peak} og Hf_{peak}. Laktat_{peak} = høyeste målte laktat på VO_{2max} løp og på VO_{2peak} staking eller staketest.

* P < 0,05, signifikant forskjellig fra pretest verdi.

* *P < 0,01, signifikant forskjellig fra pretest verdi.

P < 0,01, signifikant forskjell i endring fra pre til -posttest mellom intervensjon og kontroll -gruppe.

Tabell 5. Utnyttelse av maksimalt oksygenopptak i staking.

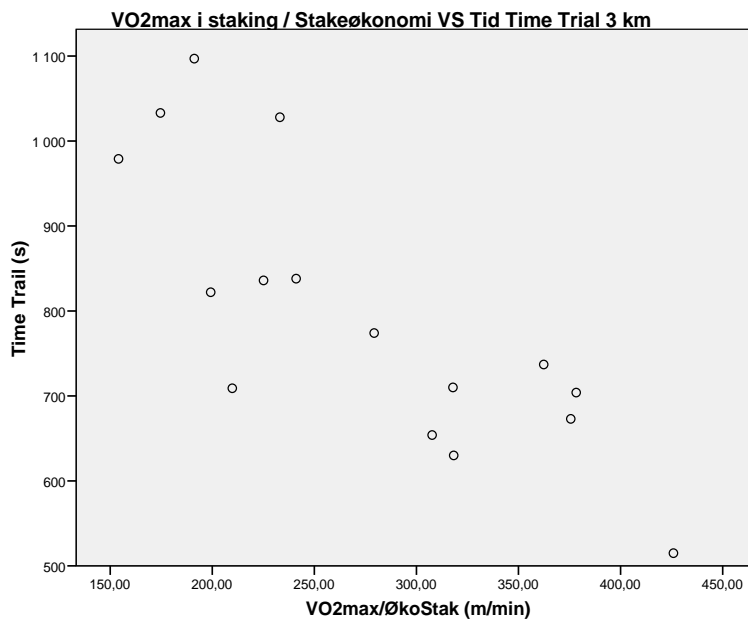
	Intervensjonsgruppe (n = 7)		Kontrollgruppe (n = 7)	
	Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
VO _{2peak} i % av VO _{2max}	81,6 ± 5,1	88,4 ± 2,0*	81,8 ± 7,9	84,1 ± 7,7
Forskjell i VO ₂ (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	12,1 ± 4,3	7,9 ± 1,7*	13,5 ± 5,3	13,5 ± 4,1

Verdier er gjennomsnitt ± SD. VO_{2peak} (staking) i prosent av VO_{2max} (løp), samt forskjell mellom VO_{2peak} i staking og VO_{2max} i løping i mL·kg⁻¹·min⁻¹ på pre og -posttest.

* P < 0,05, signifikant forskjellig fra pretest verdi.

Korrelasjoner

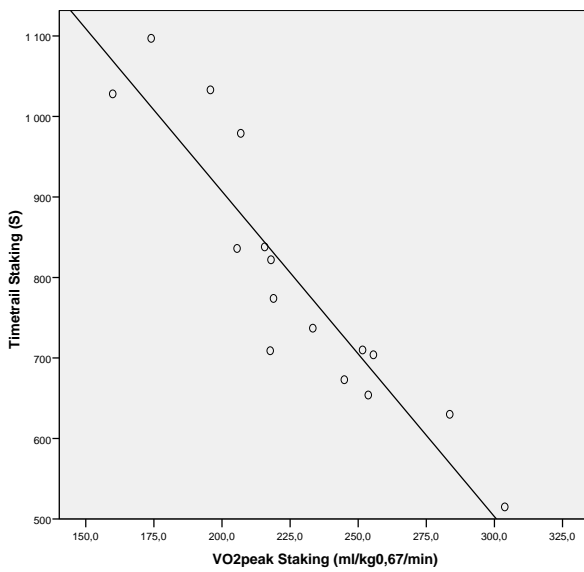
Det ble funnet en sterk korrelasjon (r = 0,808, P < 0,01) mellom tiden på prestasjonstesten og estimert tid på testen, regnet ut fra VO_{2peak} og stakeøkonomi (figur 11)



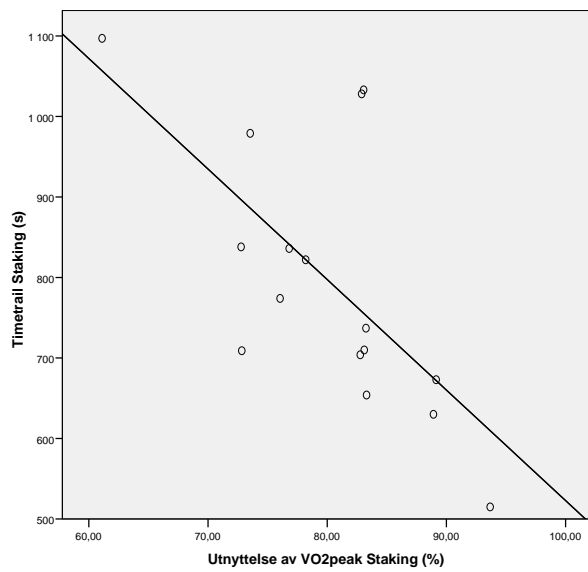
Figur 11. Korrelasjon ($r = 0,808$) mellom tid på 3km time trail og estimert hastighet på time trailen. Plott viser forsøkspersonenes ($n = 16$) tid på prestasjonstesten (time trail) og estimert hastighet på testen (m/min) ut fra VO_{2peak} staking og stakeøkonomi.

På pretest ble det funnet en positiv korrelasjon ($r = 0,785$, $P < 0,01$) mellom VO_{2max} i løping og VO_{2peak} i staking. Det var også en sterk korrelasjon ($r = 0,920$, $P < 0,01$) mellom VO_{2peak} i staking og tidsprestasjonen på staketesten på pre test (figur 12) De som presterte best på staketesten (pre test) hadde også den høyeste utnyttingsgraden i % av VO_{2peak} ($r = 0,659$, $p < 0,05$) som vist i figur 13. Det var ingen korrelasjon mellom stakeøkonomi og prestasjonen.

I intervensjonsgruppa var det også signifikant korrelasjon mellom endringer av VO_{2peak} og endring av tiden på prestasjonstesten i VO_{2peak} ($r = 0,880$, $P < 0,01$). Ingen signifikant korrelasjon ble funnet mellom endring av stakeøkonomi og endring av tid på prestasjonstesten.



Figur 12. Korrelasjon ($r = 0,920$, $p < 0,01$) mellom VO_{2peak} staking ($mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$) og prestasjonen (3km time trail staking). Forsøkspersoner ($n = 16$) vises med plott.



Figur 13. Korrelasjon ($r = 0,659$ $p < 0,05$) mellom utnyttelsesgrad (% av VO_{2peak}) på 3km time trail staking og tiden på testen.

DISKUSJON

Hovedfunnene i dette studiet er at stakaintervalltrening på høy aerob intensitet signifikant øker VO_{2peak} , flytter VO_{2peak} nærmere VO_{2max} målt i løping og bedrer tidsprestasjonen i en 3 km staketest i motbakke på stakemølle. Det ble funnet en sterk korrelasjon mellom økning i VO_{2peak} og bedring av stakeprestasjonen.

VO_{2peak} i staking og VO_{2max} i løping

Økningen av VO_{2peak} etter høy intensiv trening samsvarer med Helgerud et al. (2001), Billiat et al. (2002), Nilsson et al. (2004), McMillan et al. (2005) og Helgerud et al. (2007), se tabell 6. Den 5,6 % økningen av VO_{2peak} i dette studiet er sammenlignbar med Helgerud et al. (2007). Der fant de en 7,2 % økning av VO_{2max} etter 8 uker med 4 x 4 min løpeintervalltrening tre ganger i uka. Den prosentvise økningen i $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ pr uke blir da 0,9 % i begge disse studiene, nøyaktig det samme som i dette studiet. Økningen i VO_{2peak} $mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$ etter 6 uker med stakaintervall var på 6,2 %, som tilsvarer en framgang pr uke med 1 % og en framgang pr stakaintervalløkt med 0,34 %.

Tabell 6. Økning av VO_{2max} etter høy intensiv trening i ulike studier.

Treningsform	Intensitet	Fysisk nivå	Økning	Studium
4x4min, 2 x pr uke i 8 uker (løping)	90-95 % Hf_{max}	Elite junior fotballspillere	10,7 %	Helgerud et al. (2001)
4x4min, 2 x pr uke i 10 uker (fotballøype)	90-95 % Hf_{max}	Unge fotballspillere Celtic U-17	10,1 %	Mc Millan et al. (2005)
4x4min, 3 x pr uke i 8 uker (løping)	90-95 % Hf_{max}	Moderat trente	7,2 %	Helgerud et al. (2007)
4x4min, 3 x pr uke i 6 uker (14,4 økter) (Staking rulleski)	90-95 % Hf_{peak}	Konkurransen langrensløpere	5,6 %	Dette studiet
6-7,5 x 3min, 16økter over 6 uker (stakeergometer)	85 % av gj.snitt power på 6min max staketest	Langrensløpere på regionalt og nasjonalt nivå	4,2 %	Nilsson et al. (2004)
Økt andel løping i 3000m og 10000m fart i 8 uker	3000m og 10000m -fart	Elite maratonløpere (OL – nivå)	5,4 %	Billiat et al. (2002)

Prosentvis økning av VO_{2max} / VO_{2peak} i ulike studier med forskjellig type høy intensiv trening. Antall økter i uka og varighet på intervensjonene er oppgitt. For eksempel er 4x4min: 4x4min høyintensiv aerob intervalltrening. Intensiteten er oppgitt i prosent av Hf_{max}/Hf_{peak} , power eller hastighet. Nivå på forsøkspersonene er beskrevet.

Siden Helgerud et al. (2007) viste at en 10 % økning av SV_{max} ga en 7,2 % økning av VO_{2max} i løping, kunne det vært naturlig å tenke seg at den signifikante økningen av VO_{2peak} etter stakaintervalltreningen blant annet kom på bakgrunn av økning i SV_{max} . Dette er ikke målt i vårt studium. Men siden det ikke var signifikant endring av VO_{2max} i løping i denne studien, er det liten grunn til å tro at framgangen i VO_{2peak} skyldes økt SV_{max} . Økningen av VO_{2peak} kan da skyldes andre faktorer. Stakemuskulaturen kan ha blitt bedre til å ta opp en større del av oksygenet den blir tilbudt

ved maksimalt arbeid, da denne evnen er dårligere enn muskulaturen i beina selv hos gode langrennsløpere (Calbet et al. 2004). En eventuell høyere arterie -venøs O_2 differanse ved maksimalt arbeid i staking kan komme av økning i kapillærtettheten i stakemuskulaturen, som kan ha ført til en økt til økt MTT (Richardsson et al. 1994). Effekt på perifere faktorer som kapillærtetthet og oksidative enzymer ser da også ut til å være god etter høyintensiv aerob trening (Gjøvaag og Dahl 2008).

En del av forsøkspersonene i vårt studium erstattet noe av sin vanlige høyintensitetstrening (hovedsakelig løping) med stakeintervallene. Dermed representerer antall treningsminutter i sone 3 og 2 (se tabell 3) under treningsintervensjonen hovedsakelig stakeintervallene. Men ettersom disse treningsminuttene spesielt i sone 3 ikke så ut til å virke særlig stimulerende på VO_{2max} i løping, er kanskje ikke effekten av trening med høy Hf i staking like effektiv på VO_{2max} som trening med tilsvarende minutter med høy intensitet i løping. Dette kan eventuelt skyldes både det at Hf selvfølgelig ligger noe under 90-95 % av maksimal Hf under staking (ca 5 slag) og en eventuelt dårligere fylling av hjertet ved staking (Bjålie et al. 2003), noe som resulterer i trening med lavere minuttvolum sammenligna med løping. Det er trening med et høyt minuttvolum som ser ut til å være avgjørende for økning av VO_{2max} gjennom trening (Zhou et al. 2001, Billiat et al. 2002, Helgerud et al. 2007). Det er dermed et forslag til videre forskning og se på om SV er lik i forhold til Hf ved staking og løping.

Holmberg et al. (2005) viser at variasjoner i staketeknikk blant ulike langrennsløpere fører til forskjeller i muskelbruk. Går en med breie albuer er pectoralis mer aktiv enn hvis en går med smalere armer. Jo flere og større muskler som jobber, jo mer oksygen har kroppen kapasitet til å ta opp (Richardsson et al. 1999). Det kunne se ut som om enkelte forsøkspersoner, spesielt de som var dårligst trent på rulleski fikk en bedre beinbruk og samtidig kunne bruke magen mer aktivt i stakinga etter perioden med stakeintervalltrening.

Det var ingen signifikant forskjell i forbedring av VO_{2peak} mellom intervensjon og -kontrollgruppa. Selv ikke med en økning i VO_{2peak} $L \cdot min^{-1}$ med 7,2 % for intervensjonsgruppa, mens forskjellen på samme verdi kun var 2,2 % fra pre til post -test for kontrollgruppa (ikke signifikant). Grunnen kan være at to av forsøkspersonene i intervensjonsgruppa testet 0,08 $L \cdot min^{-1}$ lavere i VO_{2peak} på posttesten. Det er imidlertid hvert å merke seg at VO_{2max} i løping gikk betydelig mer ned for disse to forsøkspersonene.

Utrente vil kunne ha større framgang ved trening enn trente (Billiat et al. 2002, Helgerud et al. 2007, Wisløff et al. 2007). VO_{2max} kan være et mål på treningsstatus i utholdenhetsaktiviteter (Billiat et al. 2002, Rusko 2003, Helgerud et al. 2007, Wisløff et al. 2007). Forsøkspersonene i dette studiet var



bedre trent enn i Helgerud et al. (2007). Gjennomsnittlig VO_{2max} var på $67,4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ i intervensjonsgruppa, mens den var på $55,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ i 4x4 gruppa i Helgerud et al. (2007). Men selv om VO_{2max} var høyere i dette studiet var VO_{2peak} i staking gjennomsnittlig på kun $51,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ og dermed ikke veldig forskjellig fra $55,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. VO_{2peak} var videre på 81,6 % av VO_{2max} , men endret seg til 88,4 % etter treningen. Normalt er en dårligere trent i stakemuskulaturen, men det er usikkert om VO_{2peak} vil kunne bli like høy som i løping.

Utnytting av maksimalt oksygenopptak

I dette studie var VO_{2peak} i staking 82 % av VO_{2max} målt i løp på pretest. Mens i studiene til Hoff et al. (2002) og Nilsson et al. (2004) var VO_{2peak} på 85 og 86 % av VO_{2max} målt i de samme bevegelsesformene. I studiet til Hoff et al. (2002) og i vårt studium var VO_{2max} hos forsøkspersonene den samme, men i dette studiet er det to jenter. Dårligere relativ VO_{2peak} i staking i dette studiet kan imidlertid komme av forsøkspersonene i dette studiet er godt trente i løping, men ikke like godt trente når det gjelder overkroppen og staking. Etter treningsperioden derimot var VO_{2peak} på 88 % av VO_{2max} . Det kunne se ut til at de forsøkspersonene som var best trent i overkroppen (gikk mest på rulleski og ski) var de som utnyttet mest av sin VO_{2max} i denne studien. Den personen som hadde best utnyttelse av sitt maksimale oksygenopptak var en elite langrennsløper i kontrollgruppa. Han hadde VO_{2peak} i staking på 92 % av VO_{2max} i løping.

Studiene til Nilsson et al. (2004) og Hoff et al. (2002) er gjort i stakeergometer. I stakeergometeren til Nilsson et al. (2004), som er nærmere beskrevet i Holmberg og Nilsson (2008) går stavene på skinner. Siden stavene går på skinner må det brukes muskelkraft på å dra de fram etter endt stavtak. Dette kan føre til større aktiv muskelbruk i fasen der stavene skal føres fram.

Stakeøkonomi

Det var ingen signifikante endringer av stakeøkonomi etter perioden med stakeintervalltrening, til tross for en forskjell mellom pre og -posttest på 10,1 % i $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-0,67}\cdot\text{m}^{-1}$. Andre studier har sett signifikant framgang i C ved en lavere prosentvis endring fra pre til -posttest (Helgerud et al. 2001, Nilsson et al. 2004, Helgerud et al. 2007, Støren et al. 2008). Helgerud et al. (2007) hadde en signifikans på $P < 0,01$ ved bedring av C med 8 % etter 8 uker med trening. Til sammenligning hadde vårt studium en forskjell fra pre til posttest med 10,1 %, noe som tilsvarer en bedring på 1,7 % pr uke, mens Helgerud et al. (2007) hadde 1 % bedring i C pr uke. Antall forsøkspersoner var 10 i Helgerud et al. (2007), mens det var 9 forsøkspersoner i dettes studiet. Grunnen til en ikke signifikant endring i stakeøkonomi var en tilbakegang med 0,172 og 0,133 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-0,67}\cdot\text{m}^{-1}$ hos to forsøkspersoner. Uten disse forsøkspersonene ville framgangen i stakeøkonomi hvert 17,5 %. Grunnen til tilbakegangen i

Høgskolen i Telemark

stakeøkonomi hos disse to personene er usikkert. En kan ikke utelukke feil med VO_2 målingene, men dette er lite sannsynlig ettersom alle prosedyrer ble gjort riktig i forbindelse med disse målingene. Laktat og Hf på samme belastninger på pre og posttest støtter også opp mot at VO_2 målingene var reliable. Den forsøkspersonen av de to som gikk mest tilbake i stakeøkonomi hadde gått opp 4,7 kg i kroppsvekt. Hun selv viste ikke hvorfor. Hun trente fortsatt mye i intervensjonsperioden, hevdet hun ikke var gravid og hadde ikke trent mer styrke. Men i testen av stakeøkonomi er vekta skalert til 0,67 for å jevne ut vektforskjeller (Bergh 1987). Den prosentvise stigningen på mølla var 4 %. Det er tyngre å forflytte en tyngre masse oppover men allikevel er ikke 4 % avgjørende bratt. Teknisk så kan det være at forsøkspersonene hadde en bedre aktiv beinbruk og kunne bruke en større del av kroppen og dermed mer muskelmasse når de staka. Dette kan være med å øke oksygenopptaket (Richardsson et al. 1999), men samtidig vil dette sannsynligvis kunne bedre effekten i stavgangen og dermed bedre stakeøkonomi. Jeg finner derfor ikke noen god grunn for tilbakegangen i stakeøkonomi hos to av forsøkspersonene.

Tabell 7. Endringer i arbeidsøkonomi etter trening i ulike studier.

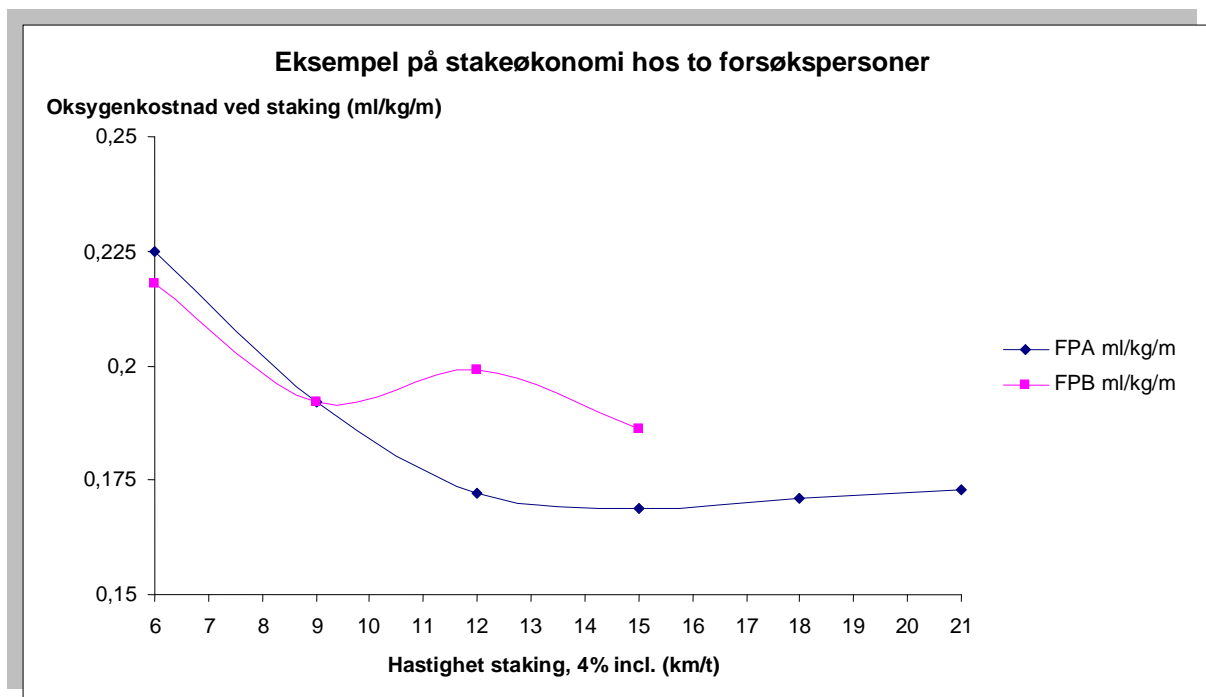
Trening	Forsøkspersoner	Testaktivitet	Framgang %		Studium
			pr.uke	Totalt	
Styrke 3x6rep, 3xpr uke, 8 uker	Langrennsløpere, menn	Stakeergometer	3,4	27,5	Hoff et al. (2002)
Staking (stakeergometer) 6-7,5x3min, 3xpr uke, 8 uker	Langrennsløpere på regionalt/nasjonalt nivå	Stakeergometer (Work efficiency)	1,5	9	Nilsson et al. (2004)
Løping 4x4min, 3xpr uke, 8 uker	Moderat trente	Løping	1,0	8	Helgerud et al. (2007)
Styrke, knebøy 4x4rep, 3xpr uke, 8 uker	Veltrente løpere, menn og kvinner	Løping	0,6	5	Støren et al. (2008)
Staking (mølle) 4x4min, 3xpr uke, 8 uker	Konkurranse langrennsløpere	Staking (mølle)	1,7	10,1	Dette studiet

Tabellen viser prosentvise forbedringer av arbeidsøkonomi (C) (work efficiency i Nilsson et al.) i ulike studier etter ulike typer høy intensiv aerob intervalltrening og styrketrening. Endringer i C (work efficiency) etter intervensjonene og endringer per uke er oppgitt. For eksempel er 4x4min: 4x4min høyintensiv aerob intervalltrening, i antall økter per uke og over antall ukers varighet. I styrkeintervensjonene er antall repetisjoner og serier oppgitt. Forsøkspersoners nivå er oppgitt, samt treningsaktiviteter og testaktivitet.

Stakeøkonomien ble testa på 3 forskjellige hastigheter. Hastighetene de ulike forsøkspersonene staka på var ut fra hver enkelt forsøksperson sitt nivå, på grunn av stor spredning av stakeferdigheter i gruppene. Det var 1,5 km/t økning mellom hver hastighet, da starthastigheten måtte være såpass lav at siste hastighet ikke skulle være med høye anaerobe bidrag, siden VO_2 er et målt på aerob energiomsetning og høye laktatverdier kan påvirke C (Hoff et al. 2010 in progress). Etter 6 uker med stakeintervall hadde mange blitt såpass mye bedre til å stake at de ble testet på høyere hastigheter på posttest. Eksempelvis kunne første hastighet på posttest være andre hastighet på pretest. Hastigheten som stakeøkonomien ble regna ut på, er kalkulert fra en regresjonslinje mellom tre plott fra VO_2 på disse hastighetene og opp til VO_{2peak} . Plottene var i godt samsvar med regresjonslinja (alle hadde en r

$\geq 0,981$). Intensitet som stakeøkonomi ble målt på tilsvarte 70 % av VO_{2peak} . Dette var basert på resultater fra Helgerud et al. (2009) som viste en lik løpsøkonomi mellom 60 og 90 % av VO_{2max} i løping.

For å se på om stakeøkonomien endrer seg fra lav til høy hastighet gjorde vi en singel studie på dette med to forsøkspersoner som vist i figur 14. Person A var en topp 100 senior langrennsløper i Norge, mens person B var en turløper (deltok i turrenn). Disse to blei testa på like hastigheter, fra lav (6 km/t) til maksimal hastighet som kunne holdes i 5 min (15 km/t for B og 21 km/t for A). Det var 3 km/t mellom hver hastighet, for B blei det 4 ulike hastigheter, mens for A blei det 6 ulike hastigheter. Sett i forhold til prosent av maksimal belastning var stakeøkonomien lik fra ca 60 % av VO_{2max} og opp til tilnærmet maksimal belastning. Felles for begge forsøkspersonene var at stakeøkonomien var dårligst på svært lav belastning, noe som viser at stakeøkonomi ikke bør testes i for lav hastighet, men bør testes på en intensitet som er over 60 % av VO_{2peak} . Utrekningen av stakeøkonomi på 70 % i dette studiet synes da å være valid, men den kan sannsynligvis ut fra figur 14 variere litt mer hos langrennsløpere på lavere nivå, kanskje også over 70 % av VO_{2peak} .



Figur 14. Oksygenkostnadd ved staking (ml/kg/m) hos to langrennsløpere, fra lav til høy hastighet (intensitet). FpA = Topp 100 senior langrennsløper i Norge, FpB = turløper. 9km/t tilsvare ca 60 % av VO_{2peak} for FpB, mens tilsvarende intensitet for FpA er på ca 12 km/t.

Utnyttingsgrad

Utnyttingsgrad på 3 km staketesten for intervensjonsgruppa på pre og posttest var 88,1 og 92,3 % av VO_{2peak} , i staking, og 93,4 og 95,6 % av Hf_{peak} . Ingen endringer var signifikante, men samtidig var det signifikant korrelasjon mellom høy VO_{2peak} og god tid på prestasjonstesten (figur 12). De med høyest VO_{2peak} og dermed best tidsprestasjon, hadde også best utnyttingsgrad. Dette samsvarer med resultater fra Støa et al. (2010) der det konkluderes med at utnyttingsgraden er et produkt av konkurransetiden. For å ha en god utnyttelsesgrad bør en derfor ha en høy VO_{2peak} som fører til en kortere konkurransetid. Utnyttingsgraden virker sannsynligvis mer inn som en prestasjonsbestemmende faktor ved lengre konkurransevarighet (Støa et al. 2010), kan påvirkes av faktorer som dehydrering, tømning av glykogenlagre og sentral nervøs tretthet (Gandevia 2002, Åstrand et al. 2003).

Tidsprestasjon på 3 km staketest

Økt VO_{2peak} etter treningsperioden i dette studiet korrelerte sterkt med bedring av prestasjonen på staketesten. Dette samsvarer med resultatene i Costil et al. (1973) gjort på løping, der de med høyest VO_{2max} var de som løp raskest på et 16 km løp. Resultater fra Støa et al. (2010) støtter også opp om dette der det i ei gruppe løpere på nasjonalt nivå var de med høy VO_{2max} som presterer best på 5000m.

Hf_{peak} og $laktat_{peak}$

Det var individuelle forskjeller i hvor nærme Hf_{peak} ved staking var Hf_{peak} målt i løping. Noen hadde litt overraskende omtrent samme Hf_{peak} i både staking og løping. Allikevel ble det funnet signifikant (2,7 %) forskjell i gjennomsnittlig Hf_{peak} målt i staking og i løping på pre test. Hf_{peak} endret seg ikke ved trening. Siden hjertet er ganske nær sin maksimale frekvens også ved staking vil dårligere VO_2 i staking komme av lavere slagvolum og/eller dårligere perifer kapasitet som fører til en lavere arterievenøs O_2 differanse ved maksimalt arbeid.

Høyeste oppnådde laktatverdier i staking og løping forandret seg ikke fra pre til posttest. Dette samsvarer med Helgerud et al. (2007) i løping der det heller ikke var noen endring av laktatverdier etter en treningsperiode med høyintensiv intervall.

Det var en tendens hos mange av forsøkspersonene at de hadde høyere hvilelaktat etter oppvarming ved staking enn hva som var tilfelle ved løping, selv om intensiteten var svært rolig. Larson (2006) har i linje med dette funnet betydelig høyere laktatverdier i forhold til hjertefrekvens i staking enn i løping og skøyting på rulle ski. Terzis et al. (2006) viser på konkurranselangrensløpere at overkroppen har større andel av muskelfibertype 2 enn beina. Muskelfibertype 2 har bedre anaerob kapasitet enn

muskelfibertype 1. Men laktat_{peak} i staking var som nevnt lik i løping og staking og endret seg ikke med trening.

Forsøkspersoner, praktiske komplikasjoner og svakheter

Signifikante endringer i dette studiet vil være svært gode endringer, siden studiet kun er gjort over 6 uker og på kun 9 forsøkspersoner. Flere signifikante endringer kunne vært funnet dersom studiet var gjort over 8 uker som en rekke andre intervensjonsstudier (Hoff et al. 2002, Helgerud et al. 2007, Støren et al. 2008) eller mer. I studien kunne vi også brukt flere forsøkspersoner, og det vil kjøres en tilsvarende gruppe også på samme tid neste år for å øke den statistiske poweren i studiet.

En svakhet i forhold til testing av prestasjonsbestemmende faktorer kan være at VO_{2peak} ble testa på opp til 6 % stigning, og ikke 4 % som stakeøkonomien og prestasjonstesten ble gjennomført på. Imidlertid så det ut som at de fleste subjektene kom opp i like høyt oksygenopptak og noen høyere på staketesten enn på test av VO_{2peak} . VO_{2peak} ble satt til høyest målte VO_2 ut i fra begge disse testene og 2 % forskjell i stigning så dermed ikke ut til å påvirke VO_{2peak} .

I et nytt studium ville jeg nok ha beregnet LT i staking. Dette var tenkt gjort, men på grunn av høy oppvarmingslaktat, med samme peak laktat som for løping, ble disse beregningene vanskeligere å gjennomføre. Det er mulig at det bør utarbeides en egen beregningsmodell for LT ved staking.

Trening i langrenn og staking

Ettersom det var høy korrelasjon mellom VO_{2max} og VO_{2peak} kan en øke VO_{2peak} ved å øke VO_{2max} , da den sannsynligvis vil forflytte seg prosentvis etter VO_{2max} . Trening av SV_{max} vil da også øke VO_{2peak} i staking. Men samtidig viser dette studiet at VO_{2peak} kan økes uten at SV_{max} og VO_{2max} økes. Ved ekstrem høy VO_{2max} vil det kreves mer og mer trening på høy intensitet for å øke denne faktoren. Dette studiet viser imidlertid at det er mulig å utnytte mer av det maksimale oksygenopptaket i staking, og dermed kan allikevel prestasjonen bedres i stakedelene i skiløypa eller i reine stakekonkurranser uten at VO_{2max} har økt. Det er viktig å ta med siden VO_{2max} ikke økte i denne studien at det vil være viktig å fortsette med trening som øker og vedlikeholder denne faktoren, da en nedgang i VO_{2max} vil svekke langrennsprestasjonen. Dermed vil ikke staketrening med høy intensitet kunne erstatte tradisjonell trening som virker på hjertets maksimale slagvolum, slik som løpsintervall, klassisk og skøyteintervalltrening osv. Men det vil kunne bedre prestasjonen i staking og eventuelt føre til at langrennsløpere vil kunne stake i enda større deler av løypa.

Det kunne vært inntresant og gjort en studie på effekten av økt mengde staking på lav intensitet og testa effekten på VO_{2peak} . VO_{2peak} i staking kan muligens ut fra resultatene i denne studien bedres uten



at SV_{\max} økes. Økningen av $VO_{2\text{peak}}$ kan komme av bedre perifer kapasitet. Men samtidig viste Gjøvåg og Dahl (2008) at perifere faktorer som SDH økte bedre ved høyintensiv trening. Dessuten blir en større andel av muskelfibrene i musklene brukt når intensiteten er høyere og dermed vil det kanskje ikke bli en utvikling av perifere faktorer i hele muskelen heller når kun en mindre del av den arbeider på lavere intensitet. Derfor og i tråd med den gode prestasjonsforbedringen i denne studien vil det etter all sannsynlighet være lurt å trene mye staking på høy intensitet for å kunne øke nettopp stakereprestasjonen.

KONKLUSJON

Høy intensiv aerob stakereintervalltrening på rullskimølle øker $VO_{2\text{peak}}$ og flytter $VO_{2\text{peak}}$ nærmere $VO_{2\text{max}}$. Disse forandringene i tillegg til en høy tendens til bedring av stakereøkonomi fører til en meget god bedring av prestasjonen på 3 km staking. Trening for å øke $VO_{2\text{peak}}$ i staking er da effektivt for å øke prestasjonen i stakerepartier i langrennsløypa og da også den totale prestasjonen i langrennskurranser. Siden $VO_{2\text{max}}$ er den viktigste faktoren for en langrennsprestasjon, er det gunstig med høy $VO_{2\text{max}}$ i langrenn, og en $VO_{2\text{peak}}$ i staking som er så nær $VO_{2\text{max}}$ som mulig, slik at en kan utnytte mer av sitt maksimale oksygenopptak ved staking og dermed prestere bedre



LITTERATUR

1. *Andersen P, Saltin B.* Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J Physiol.* 1985 Sep;366:233-49.
2. *Angermann M, Hoppeler H, Wittwer M, Däpp C, Howald H, Vogt M.* Effect of acute hypoxia on maximal oxygen uptake and maximal performance during leg and upper-body exercise in Nordic combined skiers. *Int J Sports Med.* 2006 Apr;27(4):301-6
3. *Aukland F, Karlsen M.* I de lange løp. Stayer forlag, 1.opplag 2009.
4. *Bangsbo J.* Estimation of lactate release from contracting muscle in man. *Acta Physiol Scand.* 1994 Mar; 150(3):349-50.
5. *Bassett JR, David R., og Howley Edward T.,* Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* Vol. 32 No. 1, pp. 70-84, 2000.
6. *Beitoworldcup.com.* [5k_with_profile.pdf](#).
<http://www.beitoworldcup.com/article.asp?downloads=1&fo=5303942>. 2010-04-26
7. *Bergh U.* The influence of body mass in cross-country skiing. *Medicine and science in sports and exercise.* No.4. 324-331, 1987
8. *Bergh U, Sjödén B, Forsberg A, Svedenhag J.* The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 1991 Feb;23(2):205-11.
9. *Bilodeau B, Rundell KW, Roy B, Boulay MR.* Kinematics of cross-country ski racing. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Jan;28(1):128-38.
10. *Billat V, Demarle A, Paiva M, Koralsztejn JP.* Int J Sports Med. Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). 2002 Jul;23(5):336-41.
11. *Birkeland KI, Stray-Gundersen J, Hemmersbach P, Hallen J, Haug E, Bahr R.* Effect of rhEPO administration on serum levels of sTfR and cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jul;32(7):1238-43.
12. *Bjørngen S, Hoff J, Husby VS, Høydal MA, Tjønnå AE, Steinshamn S, Richardson RS, Helgerud J.* Aerobic high intensity one and two legs interval cycling in chronic obstructive pulmonary disease: the sum of the parts is greater than the whole. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Jul;106(4):501-7.
13. *Björklund G, Stöggl T, Holmberg HC.* Biomechanical Influenced Differences in O₂ Extraction in Diagonal Skiing: Arm vs. Leg. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Mar 8.
14. *Bjålie, Jan G., Haug, Egil, Sand, Olav, Sjaastad, Øystein V., Med. Ill. Toverud Kari c.,* Menneskekroppen, Gyldendal 2003.





15. *Bosch AN, Goslin BR, Noakes TD, Dennis SC.* Physiological differences between black and white runners during a treadmill marathon. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;61(1-2):68-72.
16. *Brooks GA.* Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. *Fed Proc.* 1986 Dec;45(13):2924-9. Review.
17. *Calbet, J. A. L., H.-C. Holmberg, H. Rosdahl, G. van Hall, M. Jensen-Urstad, and B. Saltin.* Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2005 Nov;289(5):R1448-58.
18. *Calbet JA, Jensen-Urstad M, van Hall G, Holmberg HC, Rosdahl H, Saltin B.* Maximal muscular vascular conductances during whole body upright in humans. *J Physiol.* 2004 Jul 1;558(Pt 1):319-31.
19. *Capelli C, Pendergast DR, Termin B.* Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 Oct;78(5):385-93.
20. *Conley DL, Krahenbuhl GS.* Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(5):357-60
21. *Costill DL, Thomason H, Roberts E.* Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports.* 5:248-52. 1973
22. *Dahl Hans A, Rinvik E.* Menneskets funksjonelle ANATOMI. Cappelen Akademisk Forlag as 1999 1utgave 1999, 2 opplag 2001.
23. *Davies C.T.M. & Thompson, M.W.* Aerobic performance of Female Marathon and Male Ultramarathon Athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 41:233-45, 1979
24. *Davies JA.* Anaerobic threshold: review of the concepts and directions of future research. *Med Sic Sports Exerc* 1985; 17:6-18.
25. *Di Prampero Pietro Enrico.* Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 90: 420–429
26. *Di Prampero PE, Atchou G, Brückner JC, Moia C.* The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(3):259-66.
27. *Fis-ski.com.* Resultatlistor fra OL og VM 50 km klassisk:
[http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&competitorid=25057&raceid=16247,](http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&competitorid=25057&raceid=16247)
[http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=12600,](http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=12600)
[http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=7903,](http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=7903)
[http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=3536,](http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&raceid=3536)
[http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&competitorid=42424&raceid=1508.](http://www.fis-ski.com/uk/604/610.html?sector=CC&competitorid=42424&raceid=1508)
www.fis-ski.com 2010-04-25
28. *Foster C, Lucia A.* Running economy: the forgotten factor in elite performance. *Sports Med.* 37: 316-9, 2007





29. *Gandevia SC*. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2001 Oct;81(4):1725-89
30. *Gjøvaag TF, Dahl HA*. Effect of training with different intensities and volumes on muscle fibre enzyme activity and cross sectional area in the m. triceps brachii. *Eur J Appl Physiol*. 2008 Jul;103(4):399-409.
31. *Hildebrandt W, Schütze H, Stegemann J*. Cardiovascular limitations of active recovery from strenuous exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;64(3):250-7
32. *Heinicke K, Heinicke I, Schmidt W, Wolfarth B*. A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med*. 2005 Jun;26(5):350-5.
33. *Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J*. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Nov;33(11):1925-31.
34. *Helgerud J, Høydal K., Wang E., Karlsen T., Berg P., Bjerkaas M., Simonsen T., Helgesen C., Hjorth N., Bach R., og Hoff J*. Aerobic High-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & science in sports & exercise*. Apr; 39(4):665-71.2007.
35. *Helgerud J, Wang E, Mosti MP, Wiggen ØN, Hoff J*. Plantar flexion training primes peripheral arterial disease patients for improvements in cardiac function. *Eur J Appl Physiol*. 2009 May;106(2):207-15.
36. *Hoff J., Gran A., Helgerud J.* - Maximal strength training improves aerobic endurance performance- *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 2002 Oct;12(5):288-95
37. *Hoff J, Støren Ø, Finstad A, Wang E, Helgerud J*. High blood lactate levels deteriorates running economy in elite endurance athletes. In progress in *Med Sci Sports Exerc*, 2010
38. *Hoffman MD, Clifford PS, Watts PB, Drobish KM, Gibbons TP, Newbury VS, Sulentic JE, Mittelstadt SW, O'Hagan KP*. Physiological comparison of uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole. *Med Sci Sports Exerc*. 1994 Oct;26(10):1284-9.
39. *Holmberg HC, Lindinger S, Stöggl T, Eitzlmair E, Müller E*. Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*. 2005 May;37(5):807-18
40. *Holmberg HC, Nilsson J*. Reliability and validity of a new double poling ergometer for cross-country skiers. *J Sports Sci*. 2008 Jan 15;26(2):171-9.
41. *Horowitz JF, Sidossis LS, Coyle EF*. High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *Int J Sports Med*. 1994 Apr;15(3):152-7.
42. *Ivy JL, Chi MM, Hintz CS, Sherman WM, Hellendall RP, Lowry OH*. Progressive metabolite changes in individual human muscle fibers with increasing work rates. *Am J Physiol*. 1987 Jun;252(6 Pt 1):C630-9.
43. *Ivy JL, Withers RT, Van Handel PJ, Elger DH, Costill DL*. Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J Appl Physiol*. 1980 Mar;48(3):523-7.





44. *Kenefick RW, Mattern CO, Mahood NV, Quinn TJ.* Physiological variables at lactate threshold under-represent cycling time-trial intensity. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002 Dec;42(4):396-402.
45. *Kent M.* Oxford dictionary of sports science and medicine. Oxford University press, Oxford UK, 2006
46. *Klausen K, Andersen LB, Pelle I.* Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiol Scand.* 1981 Sep;113(1):9-16.
47. *Langrenn.com . WC - Stockholm - Sprint prolog klassisk herrer.* <http://www.langrenn.com/wc-stockholm-sprint-prolog-klassisk-herrer.4760586-114053.html>. 2010-04-26
48. *Larsen HB.* Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2003 Sep;136(1):161-70.
49. *Larson AJ.* Variations in heart rate at blood lactate threshold due to exercise mode in elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res.* 2006 Nov;20(4):855-60.
50. *Lucia A, Oliván J, Bravo J, Gonzalez-Freire M, Foster C.* The key to top-level endurance running performance: A unique example. *Br J Sports Med.* 2007 Nov 29
51. *Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, Gómez-Gallego F, San Juan AF, Santiago C, Pérez M, Chamorro-Viña C, Foster C.* Physiological characteristics of the best Eritrean runners- exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2006 Oct;31(5):530-40.
52. *McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J.* Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med.* 2005 May;39(5):273-7.
53. *Medbø JJ, AND Tabata I.* Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 67(5): 1881-1886, 1989.
54. *Mahood NV, Kenefick RW, Kertzer R, Quinn TJ.* Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Aug;33(8):1379-84.
55. *Morkeberg J, Saltin B, Belhage B, Damsgaard R.* Blood profiles in elite cross-country skiers: a 6-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports.* 2009 Apr;19(2):198-205.
56. *Myburgh KH, Vilionen A, Tereblanche S.* Plasma lactate concentrations for self-selected maximal effort lasting 1 h. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 33, No. 1, 2001, pp. 152–156.
57. *Nilsson J, Jakobsen V, Tveit P, Eikrehagen O.* Pole length and ground reaction forces during maximal double poling in skiing. *Sports Biomech.* 2003 Jul;2(2):227-36.PMID:
58. *Nilsson JE, Holmberg HC, Tveit P, Hallen J.* Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross-country skiers. *Eur J appl Physiol.* 2004 Jun: 92 (1-2): 121-7.
59. *Pate RR, Kriska A.* - Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance - *Sports Med.* 1984 Mar-Apr;1(2):87-98.





60. *Poole DC, Richardson RS.* Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. *Sports Med.* 1997 Nov;24(5):308-20.
61. *Prommer N, Thoma S, Quecke L, Gutekunst T, Völzke C, Wachsmuth N, Niess AM, Schmidt W.* Total Hemoglobin Mass and Blood Volume of Elite Kenyan Runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 Nov 27.
62. *Richardson RS, Poole DC, Knight DR, Wagner PD.* Red blood cell transit time in man: theoretical effects of capillary density. *Adv Exp Med Biol.* 1994;361:521-32
63. *Richardson, R. S., B. Grassi, T. P. Gavin, L. J. Haseler, K. Tagore, J. Roca, and P. D. Wagner.* Evidence of O₂ supply-dependent VO_{2max} in the exercise-trained human quadriceps. *J. Appl. Physiol.* 86(3): 1048–1053, 1999
64. *Rusko Heikki.* Cross Country Skiing, Blackwell science 2003.
65. *Sand O, Sjaastad ØV, Haug E.* Menneskets fysiologi. Gyldendahl Norsk Forlag AS 2001, 1.utgave, 5. opplag 2008
66. *Saltin B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, Kim CK, Svedenhag J, Rolf CJ.* Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports.* 5: 209-21, 1995
67. *Schantz P, Henriksson J.* Increases in myofibrillar ATPase intermediate human skeletal muscle fibers in response to endurance training. *Muscle Nerve.* 1983 Oct;6(8):553-6.
68. *Scharkey BJ.* Training for Cross-Country Ski Racing. Champaign, IL.: Human Kinetics 1984.
69. *Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B, Myburgh K.* The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55(2):202-9.
70. *Shono N, Urata H, Saltin B, Mizuno M, Harada T, Shindo M, Tanaka H.* Effects of low intensity aerobic training on skeletal muscle capillary and blood lipoprotein profiles. *J Atheroscler Thromb.* 2002;9(1):78-85.
71. *Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML.* The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* (2003) 89: 1–7
72. *Stensrud T, Berntsen S, Carlsen KH.* Humidity influences exercise capacity in subjects with exercise-induced bronchoconstriction (EIB). *Respir Med.* 2006 Sep;100(9):1633-41.
73. *Stensrud T, Berntsen S, Carlsen KH.* Exercise capacity and exercise-induced bronchoconstriction (EIB) in a cold environment. *Respir Med.* 2007 Jul;101(7):1529-36. **A**
74. *Stensrud T, Mykland KV, Gabrielsen K, Carlsen KH.* Bronchial hyperresponsiveness in skiers: field test versus methacholine provocation? *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Oct;39(10):1681-6. **B**
75. *Stisen AB, Stougaard O, Langfort J, Helge JW, Sahlin K, Madsen K.* Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol.* 2006 Nov;98(5):497-506.





76. *Stray-Gundersen, James, Robert F. Chapman, and Benjamin D. Levine.* "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 91: 1113–1120, 2001.
77. *Støa EM, Støren O, Enoksen E, Ingjer F.* Percent Utilization of VO₂max at 5-km Competition Velocity Does Not Determine Time Performance at 5 km Among Elite Distance Runners. *J Strength Cond Res.* 2010 Apr 9.
78. *Stöggl T, Lindinger S, Müller E.* Reliability and validity of test concepts for the cross-country skiing sprint. *Med Sci Sports Exerc.* 2006 Mar;38(3):586-91.
79. *Stöggl T, Enqvist J, Muller E, Holmberg HC.* Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *J Sports Sci.* 2010 Jan;28(2):161-9.
80. *Stöggl T, Enqvist J, Muller E, Holmberg HC.* Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *J Sports Sci.* 2010 Jan;28(2):161-9.
81. *Støren O, Helgerud J, Støa EM, Hoff J.* Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2008 Jun;40(6):1087-92.
82. *Støren O, Helgerud J, Hoff J.* Running Stride Peak Forces Inversely Determine Running Economy in Elite Runners. *J Strength Cond Res.* 2010 Jan 21.
83. *Sunde A, Støren O, Bjerkaas M, Larsen MH, Hoff J, Helgerud J.* Maximal Strength Training Improves Cycling Economy in Competitive Cyclists. *J Strength Cond Res.* 2009 Oct 22.
84. *Svedenhag J, Piehl-Aulin K, Skog C, Saltin B.* Increased left ventricular muscle mass after long-term altitude training in athletes. *Acta Physiol Scand.* 1997 Sep;161(1):63-70.
85. *Terzis G, Stattin B, Holmberg HC.* Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports.* 2006 Apr;16(2):121-6.
86. *Terziyski KV, Marinov BI, Aliman OI, St Kostianev S.* Oxygen uptake efficiency slope and chronotropic incompetence in chronic heart failure and chronic obstructive pulmonary disease. *Folia Med (Plovdiv).* 2009 Oct-Dec;51(4):18-24.
87. *Vasaloppet.se.* Resultatliste.
<http://www.resultat.vasaloppet.se/vasa/leaders?club=&year=2010&raceClassId=20100101&count=10&formSubmit=S%F6k+toppstrid#1>. 06.04.2010.
88. *Wapedia.mobi/en:* Resultatlistor fra OL og VM 50 km klassisk:
http://wapedia.mobi/en/1985_FIS_Nordic_World_Ski_Championships,
http://wapedia.mobi/en/Cross-country_skiing_at_the_1980_Winter_Olympics,
http://wapedia.mobi/en/Cross-country_skiing_at_the_1984_Winter_Olympics,
http://wapedia.mobi/en/1978_FIS_Nordic_World_Ski_Championships,
http://wapedia.mobi/en/FIS_Nordic_World_Ski_Championships_1982 . Wapedia Mobil Encyclopedia 2010-04-25





89. Wehrlin, Jon Peter, Peter Zuest, Jostein Halle'n, and Bernard Marti. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* 100: 1938–1945, 2006.
90. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognum Ø, Haram PM, Tjønnå AE, Helgerud J, Slørdahl SA, Lee SJ, Videm V, Bye A, Smith GL, Najjar SM, Ellingsen Ø, Skjaerpe T. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*. 2007 Jun 19;115(24):3086-94.
91. Wiswell RA, Jaque SV, Marcell TJ, Hawkins SA, Tarpenning KM, Constantino N, Hyslop DM. Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 32: 1165-70, 2000.
92. [Worldcupdrammen.no.http://www.worldcupdrammen.no/filarkiv/File/Kart_WorldCup2010_med_alle_tema.pdf](http://www.worldcupdrammen.no/filarkiv/File/Kart_WorldCup2010_med_alle_tema.pdf). 2010-04-26
93. Zamparo P, Bonifazi M, Faina M, Milan A, Sardella F, Schena F, Capelli C. Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol*. 2005 Aug;94(5-6):697-704. Epub 2005 May 11.
94. Zamparo P, Pendergast DR, Termin B, Minetti AE. How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *J Exp Biol*. 2002 Sep;205(Pt 17):2665-76.
95. Zhou B, Conlee RK, Jensen R, Fellingham GW, George JD, Fisher AG AG. Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Medicine & science in sports & exercise*. 33: 1849-54, 2001
96. Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Strømme SB. *Textbook of Work Physiology*. Fourth edition, HumanKinetics 2003.

