

Sjur Johansen Øfsteng

Effekt av tung styrketrening på prestasjon direkte etter 110 min staking på en submaksimal belastning

- En åtte uker lang styrkeintervensjon

Masteroppgave i idrettsfysioterapi

Seksjon for idrettsmedisinske fag
Norges idrettshøgskole, 2015

Sammendrag

Formålet med denne studien var å undersøke effekten av tung styrketrening på overkroppen i 1 RM i overkroppsovelser, ulike fysiologiske variabler som oksygenforbruk, RER, hjerterefrekvens, laktat samt opplevd anstrengelse, EMG-aktivitet og stakekinematikk under en 110 min submaksimal staketest direkte etterfulgt av en prestasjonstest.

Tjueni mannlige langrennsløpere ble rekruttert og fordelt til en styrketreningsgruppe (STR; n= 21, VO_{2maks} $68,5 \pm 5,3 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) og en kontrollgruppe (KON; n= 8, VO_{2maks} $66,3 \pm 7,9 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Intervensjonsperioden varte i åtte uker hvor STR trente tre overkroppsovelser tre ganger ukentlig (3-4 serier og 4-12 RM) i tillegg til utholdenhetstreningen. KON fortsatte sitt vanlige treningsprogram, men fikk ikke lov til å trene tung styrke. Før og etter åtte uker med treningsintervensjon gjennomførte forsøkspersonene to testdager. Testdag 1 bestod av maksstyrketester (1 RM) samt en laktatprofil og VO_{2maks} test. På testdag 2 startet forsøkspersonene med å stake i 110 min på en submaksimal belastning direkte etterfulgt av en trappetest til utmattelse, hvor tid til utmattelse ble registrert. Under testene ble fysiologiske variabler, EMG-aktivitet og stakekinematikk målt og registrert. Alle testene ble gjennomført på rulleski på en stakemølle i teknikken dobbelttak.

Maksimal styrke målt som 1 RM økte signifikant mer i STR sammenlignet med KON i sittende nedtrekk (hhv. $8,9 \pm 4,4\%$ og $0,8 \pm 4,5\%$) og tricepspress (hhv. $21,7 \pm 10,8\%$ og $4,8 \pm 6,8\%$). STR økt signifikant TTU etter 110 min submaksimal staking ($19,6 \pm 16,0\%$, $p < 0,001$), mens ingen signifikant endring ble sett i KON ($8,8 \pm 17,7\%$, $p = 0,13$). Økningen i TTU tenderte mot å være større i STR sammenlignet med KON, samt viste en moderat praktisk effekt av STR i forhold til KON (ES= 0,80, $p = 0,07$). Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene i fysiologiske variabler (bortsett fra RER), EMG-aktivitet eller stakekinematikk under staking på 110 min submaksimal belastning eller prestasjonstesten (bortsett fra RER og hjerterefrekvens).

Konklusjonen fra denne studien er at tung styrketrening på overkroppen viste økt maks styrke på en gruppe mannlige langrennsløpere sammenlignet med en kontrollgruppe. Økningen i maksimal styrke hadde en moderat praktisk effekt på økt tid til utmattelse

etter 110 min staking på en submaksimal belastning, og forskjellen tenderte til å være større i STR enn KON.

Forkortelser

Forkortelse	Beskrivelse
1 RM	En repetisjon maksimum
W	Effekt (watt)
RFD	Rate of force development (kraftutvikling)
VO _{2maks}	Det maksimale oksygenopptak
VO ₂	Oksygenforbruk
HF	Hjertefrekvens
RER	RER-verdi
Borg	Borgskala – opplevd anstrengelse
[La ⁻]	Laktat
LT	Laktatterskel
LM	Lean body mass, muskelmasse
TTU	Tid til utmattelse
TT	Tid brukt på en distanse (Time trial)
FP	Forsøksperson
STR	Samtidig styrke- og utholdenhetsgruppe
KON	Kontrollgruppe

Forord

For å få gjennomført et prosjekt av denne størrelse er det mange personer som skal takkes.

Først vil jeg takke hovedveileder Bent Ronny Rønnestad på Høgskolen i Lillehammer for alltid å være tilgjengelig for spørsmål og som har kommet med hurtige og konstruktive tilbakemeldinger under skriveprosessen. Din kunnskap og engasjement har virkelig inspirert meg.

Takk til Gøran Paulsen på Olympiatoppen for god veiledning i bearbeiding og analyse av EMG- materiale og konstruktive samtaler i forbindelse med oppgaven.

Takk til Geir Vegge for opplæring av EMG-målingene.

Takk til Joar Hansen for opplæring i laboratorietesting på HiL og gode samtaler under de mange timene med testing.

Takk til stipendiatene Daniel Hammerström og Olav Vikmoen for gode diskusjoner og råd i bearbeiding av datamateriale.

Takk til bachelorstudentene Sylvi Sommer, Marius Aastad og Håkon Raaness for all hjelp i gjennomføring av treningsøktene under styrkeintervensjonen og testingen.

Til sist vil jeg takke alle forsøkspersonene som deltok i prosjektet. Dere var alltid motiverte til å yte maksimalt uansett om det var under testingen eller under styrketreningsøktene.

Innhold

1. Innledning	10
2. Teoriavsnitt	12
2.1 Styrke	12
2.1.1 Hva bestemmer muskelstyrke?	12
2.1.2 Adaptasjoner til styrketrening	12
2.1.3 Muskulære adaptasjoner	13
2.1.4 Neurale adaptasjoner	14
2.1.5 Hvordan øke muskelstyrke?	15
2.2 Utholdenhet	16
2.2.1 Maksimalt oksygenopptak	17
2.2.2 Utnyttelsesgrad	18
2.2.3 Laktatterskel	18
2.2.4 Arbeidsøkonomi	19
2.2.5 Anaerob kapasitet	20
2.3 Effekten av samtidig styrke- og utholdenhetstrening på styrke?	21
2.4 Effekten av styrketrening på prestasjon i utholdenhetsidretter	22
2.4.1 Effekten av styrketrening på maksimalt oksygenopptak	22
2.4.2 Effekten av styrketrening på arbeidsøkonomi	23
2.4.3 Effekt av styrketrening på utnyttelsesgrad og laktatterskel	24
2.4.4 Effekt av styrketrening på anaerobe kapasitet	24
2.4.5 Effekten av styrketrening på prestasjon	26
2.4.6 Underliggendemekanismer som følge av styrketrening	28
2.5 Stakekinematikk, syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens	30
3. Problemstilling	33
3.1 Hypotese 1	33
3.2 Hypotese 2	33
4. Metode	34
4.1 Utvalg	34
4.2 Eksperimentelt design	35
4.3 Treningsintervensjon	36
4.4 Prosedyrer	39
4.4.1 Testdag 1:	39
4.4.2 Laktatprofil og VO_{2maks} , testdag 1.	41
4.4.3 Testdag 2	44
4.5 EMG prosedyrer	46
4.5.1 Målemetoden EMG	48
4.6 Dual-energy x-ray absorptiometry, DXA	49

Statistikk	50
5. Resultatkapittel.....	51
5.1 1 RM.....	51
5.2 Treningsmotstand under intervensjonen.....	52
5.3 Treningsstatus	53
5.4 Treningsvolum under intervensjonsperioden	53
5.5 DXA og kroppsvekt	54
5.6 Respons under 110 min submaksimal staketest	55
5.7 10- og 12 km/t, testdag 1 og 2.....	58
5.8 VO_{2maks} og tid til utmattelse (prestasjon)	59
5.9 Differanse mellom TTU dag 1 og 2 pretest og TTU dag 1 og 2 posttest.....	61
5.10 EMG-måling fra m. triceps brachii under 110 min submaksimalstaketest, testdag 2	62
5.11 Korrelasjoner	64
5.12 Maks watt (W_{maks}) under VO_{2maks} test.....	65
5.13 Laktat watt (W) og utnyttelsesgrad på 2 og 4 mmol/L [La^{-1}] under laktatprofil (10, 12 og 14 km/t) testdag 1.	65
5.14 Stakekinematikk	67
5.14.1 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 10, 12, 14 km/t og siste hele fullførte belastning under VO_{2maks} test ved testdag 1.	67
5.14.2 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 90 min staketesten.....	68
5.14.3 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 10 og 12 km/t og siste hele fullførte belastning under TTU test etter 90 min submaksimal staking, testdag 2.	69
5.14.4 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens samt VO_2 mellom pre vs. pre testdag 1 til 2 og post vs. post testdag 1 til 2 innad i STR og KON.	70
6. Diskusjon	72
6.1 Maksimal styrke, kroppsvekt og DXA-måling.....	72
6.2 Fysiologisk respons under 110 min submaksimale staketest (90 min + 10 og 12 km/t)	74
6.3 EMG- aktivitet under 110 min submaksimal staketest	78
6.4 Effekt av styrke på sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid.....	79
6.5 Effekt av styrketrening på prestasjon.....	81
6.6 Betragtninger rundt den metodiske tilnærmingen	86

6.7	Overveielser omkring hypotesene	88
7.	Konklusjon.....	89
8.	Referanseliste.....	90
9.	Tabelloversikt	103
10.	Figuroversikt	105
11.	Vedlegg	107
11.1	Forespørsel om deltagelse i forskningsprosjekt	108
11.2	Styrkeskjema.....	112
11.3	EMG – testskjema, langløp stakeprosjekt	113

1. Innledning

Langrenn har de siste tiårene utviklet seg i retningen av flere fellesstarter, nye løpsdistanser, forbedret skiutstyr, forandringer i løypeprofiler og bedre preparering av løyper. Dette har bidratt til en hastighetsøkning på ~ 5-8% i World Cup distanselangrenn ($\geq 10/15$ km) (Losnegard, 2013). For å imøtekomme de økte kravene har dobbelttak teknikken vokst tydeligere frem samtidig som den har blitt modernisert (Holmberg, Lindinger, Stoggl, Eitzlmair, & Muller, 2005). I dag er den moderne dobbelttak hovedteknikken brukt under klassiske skikonkurranser (Losnegard, 2013).

Den moderne dobbelttak teknikken har ført til større vektlegging på overkroppsstyrke i tillegg til utholdenhetstreningen (Holmberg et al., 2005). I litteraturen er det funnet moderat til nesten perfekte korrelasjoner mellom overkroppsstyrke og effekt (W) og prestasjon både på rulleski og stakeergometer (Losnegard et al., 2011; Staib, IM, Caldwell, & Rundell, 2000; Stoggl, Lindinger, & Muller, 2007b). Flere studier har vist forbedret prestasjon etter en styrkeintervensjon ved økt tid til utmattelse (TTU) med dobbelttak (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Hoff, Helgerud, & Wisloff, 1999; Østeras, Helgerud, & Hoff, 2002) og forbedret effektproduksjon ved 5 min stakeergometerest (Losnegard et al., 2011). På en annen side er det ikke funnet effekt av styrketrening på tid brukt på en distanse (TT) (Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, & Hakkinen, 2007; Rønnestad, Kojedal, Losnegard, Kvamme, & Raastad, 2012; Skattebo, 2014). De divergente funnene gjør det vanskelig å danne ens konsensus om effekten av styrketrening på langrennsprestasjon.

Dobelttak teknikken har vist seg å være mer økonomisk enn diagonal teknikk på flatt til slakt terreng (Hoffman & Clifford, 1992). I langrennsstudier har det blitt funnet forbedret arbeidsøkonomi etter styrkeintervensjoner (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Dette har ført til spesialtrening på dobbelttak i staking, særlig blant utøverne som satser langløp i langrenn. Løpsutvikling i disse langløpene består ofte av en lang fase på submaksimal belastning med en påfølgende maksimal sluttsprint. Nylige sykkelstudier indikerer at økt muskelstyrke kan bedre langtidsprestasjonen. Rønnestad og kolleger (2011) og Vikmoen og kolleger (2015b) så endringer i den fysiologiske responsen med bedre arbeidsøkonomi på slutten av 180-185 min sykling på en

submaksimal belastning samt forbedret prestasjon. Dermed kan det spekuleres i om løpsdistanser som langløp hvor løpstiden er relativt lang og hvor dobbelttak hovedsakelig anvendes i fremdriften vil ha effekt av å trene styrke i tillegg til utholdenhetstreningen. Siden fokuset på langløp er relativt nytt, har de fysiologiske egenskapene i liten grad blitt kartlagt under kontrollerte betingelser.

2. Teoriavsnitt

2.1 Styrke

I det siste tiåret har det blitt mer akseptert å trene styrke som en del av treningen for å optimalisere utholdenhetsprestasjon i idrett. Det er foreslått ulike mekanismer for hvordan styrketrening kan påvirke prestasjon i langrenn, sykkel og løping. Som en følge av styrketrening er det sett forandringer i nervesystemet, forandring i muskelsenestivheten, forandringer i bevegelsesmekanikken og forandringer i karakteristikken til muskelmassen som kan resultere i økt styrke, anaerob kapasitet og forbedret utholdenhetsprestasjon. Forstår man bakgrunnen for effekten av styrketrening, kan spesifikke styrketreningsprogram tilrettelegges kravene i idrettsgrenen og videre bedre prestasjonen. I de neste avsnitt gjøres det rede for flere av disse faktorene.

2.1.1 Hva bestemmer muskelstyrke?

Styrke kan bli definert som «den maksimale kraften eller det dreiemoment en muskel eller muskelgruppe kan skape ved en spesifikk eller forutbestemt hastighet» (Knuttgén & Kraemer, 1987; Raastad, Paulsen, Refsnes, Rønnestad, & Wisnes, 2010). Den maksimale kraften er et produkt av muskulære og neurale faktorer som utgjør et tett samspill (Sale, 2003). Faktorer i muskulaturen og nervesystemet påvirker evnen til å utvikle kraft i muskelenesystemet og skjer ved endringer i muskelens tverrsnitt, endring i fibertype, endring i muskellengde, konsentrasjon av kontraktile proteiner og biomekaniske forhold (muskulære faktorer) (Folland & Williams, 2007; Lieber & Friden, 2000; Raastad et al., 2010). De neurale endringene kan skyldes endring i aktiveringen av motoriske enheter, rekruttering og fyringsfrekvens samt koordinering av agonister, antagonister og synergister (Raastad et al., 2010; Sale, 2003). Disse endringene er mulig på grunn av skjelettmuskulaturens ekstremt dynamiske struktur og gode evne til å adaptere både strukturelle og fysiologiske faktorer ved ulike former for funksjonell overbelastning. Overbelastning skjer når muskulaturen kontraheres mer kraftfullt enn normalt, som under styrketrening (MacDougall, 2003).

2.1.2 Adaptasjoner til styrketrening

Muskelstyrke kan øke signifikant i løpet av de første ukene med styrketrening. Hos relativt utrente individer kan det ses en økning på 1 % i 1 RM per treningsøkt, og i løpet av de første 8-20 ukene ser vi ofte en økning i styrke fra 20 til 40% (Kraemer et al.,

2002; Losnegard et al., 2011; Raastad et al., 2010; Rønnestad, Hansen, Hollan, & Ellefsen, 2014; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Sale, 1988; Vikmoen, Rønnestad, Ellefsen, & Raastad, 2015a; Åstrand, Rodahl, Dahl, & Strømme, 2003). Adaptasjonene til styrketrening i de første ukene har typisk vært forklart med neuromuskulære adaptasjoner, mens videre muskelstyrke assosieres med økning av hypertrofiadaptasjoner (Goldspink & Harridge, 2003; Hakkinen & Komi, 1983; Sale, 1988, 2003). Dog har nyere studier sett en økning i muskeltverrsnitt allerede etter to (Abe, DeHoyos, Pollock, & Garzarella, 2000) til tre (Seynnes, de Boer, & Narici, 2007) uker med styrketrening. Observasjon i økning av proteinsyntesehastighet allerede 4 timer etter avsluttet treningsøkt (MacDougall et al., 1995), tilsier muligheten for muskelvekst allerede etter første treningsøkt. Men metodologiske problemer gjør det vanskelig å oppdage tverrsnittøkning i tidlig fase av styrketreningen (Raastad et al., 2010). Det er dog ens konsensus i litteraturen at adaptasjoner til styrketrening kan ses i sammenheng med økning av muskeltverrsnittet, muskelfibertypeoverganger og neuromuskulære adaptasjoner (Folland & Williams, 2007; Kraemer & Ratamess, 2004).

2.1.3 Muskulære adaptasjoner

Styrketrening resulterer i en hurtig økning i muskelens myofibrillære proteinsyntese. Allerede etter kun en styrkeøkt ses økt proteinsyntese aktivitet (MacDougall et al., 1995; Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997). Ved repetert styrketrening fører økt proteinsyntese til vekst av myofibrillens areal og antall (MacDougall, 2003). Som videre vil resultere i muskelfibrenes totale tverrsnittareal (hypertrofi). Myofibrillens størrelse og antall er dermed direkte proporsjonal med muskelfiberens tverrsnitt (MacDougall, 2003). I denne sammenheng vil også muskelkraften være proporsjonal med muskelfiberens tverrsnittsareal. Økningen i arealet og antall myofibrill-fiber skjer ved longitudinell splitting, som resulterer i to eller flere datter myofibriller med samme lengde (Chesley, McDougall, Tarnopolsky, Atkinson, & Smith, 1992; Goldspink & Harridge, 2003). Videre skjer det også en addering av kontraktile proteiner (myosin og aktin) uten på de eksisterende myofibrillene (Raastad et al., 2010). Det diskuteres også om styrketrening kan resultere i nye muskelfiber (hyperplasia) (MacDougall, 2003). Flere studier indikerer hyperplasi i dyreforsøk (Giddings & Gonyea, 1992; Gonyea, Sale, Gonyea, & Mikesky, 1986; Tamaki et al., 1997). Imidlertid er det usikkert om hyperplasi kan forekomme i menneskemuskelen.

En annen muskulær adaptasjon som kan skje ved styrketrening er økt muskellengde, hvor sarkomerer adderes i lengderetningen (Lieber & Friden, 2000). Dette er sannsynligvis et forsøk på å optimalisere arbeidsforholdene til musklene i forhold til den aktiviteten som utøves (Raastad et al., 2010). Det er vist at 20% økning i muskellengde kan øke den maksimale kraft med 25% (Kim, Ko, Farthing, & Butcher, 2014; Ravichandiran et al., 2009).

Fibertypesammensetningen kan også påvirkes ved styrketrening. Ved styrketrening ses det typisk en skiftning fra type IIx til type IIa fiber, slik at andelen type IIx fiber blir redusert (Aagaard & Andersen, 2010; Aagaard et al., 2011; Andersen & Aagaard, 2000; Tesch & Alkner, 2003; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). I studier er det observert etter 12-14 uker en reduksjon av type IIx fiber med 5-11%, og videre ses en økning av type IIa fiber (Folland & Williams, 2007). Hvis derimot styrketrening stopper med treningen ses det en økning, eller til og med «overskytning» av type IIx fibre (Andersen & Aagaard, 2000; Staron et al., 1991). Det er mer uvisst om det skjer endringer i andelen av type I fiber ved styrketrening, dog er dette foreslått å avhenge av type muskel og pre-treningsstatus (Bishop, Jenkins, Mackinnon, McEniery, & Carey, 1999; Kraemer et al., 1995; Åstrand et al., 2003)

2.1.4 Neurale adaptasjoner

Neurale adaptasjoner ved styrketrening kan fasilitere til økt aktivitet i primærmuskulaturen under en spesifikk bevegelse og koordinere aktivering av agonister, antagonister og synergister (Folland & Williams, 2007; Sale, 2003). Dette kan bidra til å skape en større netto kraft i ønsket (spesifikke) bevegelse (Folland & Williams, 2007). I tillegg kan evnen til hurtig kraftutvikling (RFD) bedres (Sale, 1988). Bakgrunnen for disse neurale adaptasjonene ved styrketrening, skjer sannsynligvis gjennom økt rekruttering (avhenger av treningsstatus), fyringsfrekvens og bedre koordinasjon mellom motoriske enheter (Behm & Sale, 1993; Sale, 1988). Studier viser økt EMG-aktivitet etter perioder med styrketrening, som kan indikere økt rekruttering eller/og fyringsfrekvens, samt synkronisering av motoriske enheter (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002; Bieuzen, Lepers, Vercruyssen, Hauswirth, & Brisswalter, 2007; Hakkinen et al., 1998; Hakkinen & Komi, 1983; Hakkinen et al., 2001; Hauswirth et al., 2010). Imidlertid er det tvil om synkronisering kan øke den maksimale kraftutviklingen i muskulaturen (Sale, 2003).

Det er også sett korrelasjon mellom økt muskelkraft og økt EMG-aktivitet etter en periode med tung styrketrening (Hakkinen & Komi, 1986). Motsatt ved opphør av styrketrening er det sett redusert EMG-aktivitet i muskulaturen (Hakkinen & Komi, 1983). I kontrast til dette har andre studier ikke funnet forskjell i EMG-aktivitet etter styrketrening (Garfinkel & Cafarelli, 1992; Hakkinen et al., 2003).

2.1.5 Hvordan øke muskelstyrke?

Muskelvekst forekommer ved økt muskelproteinsyntese, redusert proteindegradering eller en kombinasjon av begge (Chesley et al., 1992; Kraemer, Fleck, & Evans, 1996). Det ser ut som proteinsyntesehastigheten når en topp etter ~ 24 timer, og forblir elevert 36-72 timer etter avsluttet treningsøkt (MacDougall et al., 1995). Intensitet, volum av treningsøkten, treningsstatus samt ernæring bestemmer hvor lenge proteinsyntesen er forhøyet (Chesley et al., 1992). Flere signalveier fasiliterer til proteinsyntese eller proteinnedbrytning. Disse signalveiene stimuleres av styrketrening og deles inn i tre hovedmekanismer (Kraemer & Ratamess, 2004). (I) mekaniskdrag er når muskelmembranen settes på strekk, og starter en serie kjedereaksjoner intracellulært ((primærmekanisme (Kraemer & Ratamess, 2004)) (II) metabolsk stress er ubalanse i det intracellulære miljøet som følge av økt laktat- og hydrogen-ion konsentrasjon og ATP-reduksjon. (III) økning av anabole hormoner (testosterin, GH, IGF-1) (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005, 2006; Crewther, Keogh, Cronin, & Cook, 2006). For godt trente ser det ut til at et større treningsvolum og økt intensitet må til for å få tilstrekkelig stimuli til økt proteinsyntese (Folland & Williams, 2007).

I likhet med proteinsyntesen aktiveres satellittceller av mekaniskdrag i muskelcellen og økt metabolskstress. Satellittceller er essensielle for muskelhypertrofi og har to hovedoppgaver; bidra til regenerering av muskelfiber og hypertrofi (MacDougall, 2003; Åstrand et al., 2003). Under hypertrofi fusjonerer satellittcellene med muskelfiberen og dermed øker antallet av cellekjerner og holder kjerne-/cytoplasma-forholdet konstant (Yan, 2000; Åstrand et al., 2003). Dermed økes kapasiteten til proteinsyntesen i takt med at muskelfibrene vokser i størrelse (Åstrand et al., 2003).

Muskelveksten bestemmes av hvor stort volum, intensitet og belastning som påføres en muskel/muskelgruppe. I tillegg kan aktiveringsgrad under hver repetisjon og pauselengde mellom settene gi stimuli til nervøse og muskulære faktorer (Kraemer et

al., 2002; Kraemer et al., 1996; Kraemer & Ratamess, 2004; Ratamess et al., 2009). I litteraturen er det ens konsensus omkring hvilket treningsprogram som stimulerer til størst økning i muskelvekst. Belastning mellom 3-12 RM med 2-4 sett per øvelse med en frekvens på 2-3 ganger i uken ser ut til å være det mest optimale i begynnelsen av et styrketreningsprogram/periode (Peterson, Rhea, & Alvar, 2004; Ratamess et al., 2009). Videre for å ha en jevn progresjon i å utvikle maksimalstyrke for trente utøvere bør belastningen ligge omkring 80-85% av 1 RM (Hakkinen, Alen, & Komi, 1985). Videre bør treningen periodiseres. Systematisk variasjon i intensitet og mengde har vist seg effektivt for å øke maksimalstyrke (Fleck, 1999; Kraemer et al., 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). Når det er sagt har det i nyere tid kommet indikasjoner på at lavere belastning også kan påvirke maksstyrken. Det er vist at lav belastning (30% av 1RM) med utførelse til utmattelse kan stimulerer til adaptasjoner på lik høyde med tung belastning (70-80% 1 RM) (Burd, Mitchell, Churchward-Venne, & Phillips, 2012; Schoenfeld, Wilson, Lowery, & Krieger, 2014). Til og med erfarne styrkeløftere kan oppnå hypertrofi med lav belastning (Burd et al., 2012). En nylig oversiktsartikkel viser ingen signifikant forskjell i praktisk effektstørrelse (ES) mellom høy ($\geq 65\%$ 1 RM) og lav ($\leq 65\%$ 1 RM) belastning i forhold til økt styrke (Schoenfeld et al., 2014). Men i samme oversiktsartikkel ble det likevel vist en trend til større muskelvekst i favør tung styrketrening (Schoenfeld et al., 2014). Iskemisk styrketrening (okklusjon) med lav belastning ($\leq 50\%$ 1 RM) til utmattelse øker også muskelens tverrsnittsareal (Wernbom, Augustsson, & Raastad, 2008).

2.2 Utholdenhet

Flere studier har dokumentert at suksessfulle langrennsløpere har meget høyt oksygenopptak (VO_{2maks}), både i absolutt og relative verdier (Holmberg, 2005; Ingjer, 1991; Saltin & Astrand, 1967). Hvor raskt en utøver kan forflytte seg over en gitt distanse ved varigheter over ~ 5 min, avhenger primært av hvor mye oksygen utøveren klarer å ta opp per tidsenhet og hvor effektivt denne energien kan gjøres om til mekanisk arbeid (Barstow & Mole, 1991; Bassett & Howley, 2000; Holloszy & Coyle, 1984; Joyner & Coyle, 2008). Mengden oksygen som kan tas opp under en konkurranse bestemmes av VO_{2maks} og hvor stor prosent av VO_{2maks} utøveren klarer å utnytte i en gitt varighet. Denne prosentandelen omtales som utnyttelsesgrad og er avhengig av varigheten av konkurransen (Hallèn, 2002).

2.2.1 Maksimalt oksygenopptak

VO_{2maks} reflekterer en persons maksimale evne til å ta opp og forbruke oksygen per tidsenhet og er den maksimale hastigheten for aerob energiomsetning i kroppen (Bassett & Howley, 2000; A. M. Jones & Carter, 2000; Wasserman, Hansen, Sue, Stringer, & Whipp, 2005). Under belastningstester ses det en proporsjonal sammenheng mellom økt oksygenopptak og arbeidsbelastning. I Ficks ligning beskrives variablene som påvirker utøverens oksygenopptak (McArdle, Katch, & Katch, 2001);

$$VO_{2maks} = \text{minuttvolum}_{maks} \cdot a\text{-}vO_2 \text{ differansen}_{maks}$$

VO_{2maks} bestemmes av minuttvolumet som er et produkt av hjertets minuttvolum og hjertefrekvens (slagvolum \cdot hjertefrekvens) og $a\text{-}vO_2$ - differansen som er forskjellen i oksygeninnholdet mellom arterie og blanda veneblod (Bassett & Howley, 2000; Sandbakk, Holmberg, Leirdal, & Ettema, 2010; Wasserman et al., 2005). VO_{2maks} og det maksimale minuttvolumet har vist en høy korrelasjon (Åstrand et al., 2003). Dette tyder på at minuttvolumet har en stor innflytelse på VO_{2maks} og dermed den maksimale energiproduksjonen som kan oppnås med aerobe prosesser.

VO_{2maks} påvirkes av sentrale og perifere faktorer. Sentrale faktorene er vurdert til lunges diffusjonskapasitet, hjertets slagvolum og transportkapasitet av oksygen i blodet (blodvolum og hemoglobinkonsentrasjon) (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008). Disse faktorene bestemmer hvor mye oksygen de arbeidende musklene får tildelt. Muskelkarateristikken er den perifere begrensningen og bestemmes primært av kapillær- og mitokondrietetthet, enzym aktivitet i mitokondriene og muskelmassevolum (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008). Disse regulerer opptak og forbruket av oksygenet. Det er dermed en rekke faktorer som kan begrense VO_{2maks} , og det er den tette interaksjonen mellom disse faktorene som er ledd i oksygentransporten. Dog er slagvolumet og blodgjennomstrømningen ansett som de viktigste begrensende faktorene i det kardiovaskulære systemet (Bassett & Howley, 2000; Holmberg, 2005). Innen utholdenhetsidretter har elite langrennsløpere oppnådd noen av de høyeste målte oksygenopptakene (Ingjer, 1991; Saltin & Astrand, 1967).

2.2.2 Utnyttelsesgrad

Under en arbeidsbelastning tilsvarende 100% av VO_{2maks} , kan aerobe energiomsetningen vedvare i ~ 6-10 min avhengig av treningsstatus (Hallén, 2002). Ut over dette vil størrelsen på den aerobe energiomsetningen være bestemt av VO_{2maks} og utnyttelsesgraden. Utnyttelsesgraden oppgis ofte som prosent av VO_{2maks} og tilsvarer oksygenopptaket ved en bestemt belastningsvarighet. Dog reduseres utnyttelsesgraden med økende belastningsvarighet (Bassett & Howley, 2000; Coyle, 1995; Joyner & Coyle, 2008).

Utnyttelsesgraden henger tett sammen med oksygenopptaket ved laktatterskelen (LT) i prosent av VO_{2maks} og derfor er oksygenmengden utøveren kan ta opp under en belastning/konkurrans, knyttet til oksygenopptaket ved LT (Bassett & Howley, 2000; Holloszy & Coyle, 1984; Joyner & Coyle, 2008). Dette gjør utnyttelsesgraden til en vesentlig faktor for utøverens prestasjon siden den gjenspeiler den maksimale aerobe energiomsetningen en utøver kan ha over en bestemt varighet (Åstrand et al., 2003). Hos godt trente ses en bedre utnyttelsesgrad hvor blodlaktatkonsentrasjonen ($[La^-]$) akkumuleres først ved 75-85% av VO_{2maks} , men hos utrente ses dette allerede ved 60% av VO_{2maks} (Joyner & Coyle, 2008). Studier viser at utnyttelsesgraden korrelerer høyt med prestasjon i flere utholdenhetsidretter som i løping og sykkel (Bassett & Howley, 2000; Costill, Thomason, & Roberts, 1973). Det ser også ut som utnyttelsesgraden er en viktig faktor for langdistanseløpene i langrenn (Mahood, Kenefick, Kertzer, & Quinn, 2001; Sandbakk, Holmberg, Leirdal, & Ettema, 2011). Direkte måling av utnyttelsesgrad under konkurranse/trening er vanskelig. I langrenn har indirekte måling av oksygenforbruket ved 4 mmol/L $[La^-]$ vært vanlig å anvende (Welde, Evertsen, Von Heimburg, & Ingulf Medbo, 2003).

2.2.3 Laktatterskel

Den høyeste belastning hvor det er likevekt mellom produksjonen og eliminasjonen av $[La^-]$, defineres som LT (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009; Tokmakidis, Leger, & Piliandis, 1998; Wasserman et al., 2005). LT blir ofte presentert som brytningspunktet i en $[La^-]$ -verdi over en baselineverdi, prosent av VO_{2maks} på LT eller effekt på LT (Tokmakidis et al., 1998). Imidlertid vil en høyreforskyvning av $[La^-]$ -kurven indikere, uavhengig av metode for å bestemme LT, en forbedret LT (Tokmakidis et al., 1998). Den akutte økningen av $[La^-]$ er ikke synonymt med hypoxia i muskulaturen eller at

laktatmolekylene forårsaker muskeltrøtthet (Joyner & Coyle, 2008). Moderat og høy intensitet fører til økt ATP-krav under muskelkontraksjonene og fettforbrenningen klarer ikke dette kravet. Dette fører til intracellulære prosesser stimulerer til økt glykogenolysen og glykolyse, hvor økningen i produksjon av pyruvat overskrider kapasiteten mitokondriene klarer å oksidere pyruvaten. Dette resulterer i akselerering av laktatsyreproduksjonen (Joyner & Coyle, 2008; Robergs, Ghiasvand, & Parker, 2004). De bakenforliggende faktorene for LT er komplisert og omdiskutert, men høy VO_{2maks} og oksidativ kapasitet i muskulaturen blir ofte sett i sammenheng med økning i LT til en høyere prosent av VO_{2maks} (Joyner & Coyle, 2008). I tillegg er volum/rekruttering av muskelmasse viktig i det å utsette muskeltrøtthet og $[La^-]$ -produksjon. Større muskelmasse kan fordele kraftbelastningen mellom flere muskelfiber. Dette resulterer i økt total mitokondrieaktivitet som vedlikeholder aerob metabolisme og utsetter eller reduserer glykolytisk stress og $[La^-]$ -produksjon i fibre (Coyle, 1995; Joyner & Coyle, 2008). Flere studier indikerer at effekten eller hastigheten ved LT er en god prediktor for prestasjon i utholdenhetsidretter (Bassett & Howley, 2000; Rønnestad & Mujika, 2013; Tokmakidis et al., 1998).

2.2.4 Arbeidsøkonomi

Arbeidsøkonomi blir definert som oksygenopptaket som kreves ved en gitt submaksimal arbeidsintensitet, hastighet eller angitt distanse og kan beskrives som VO_2 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ eller $mL \cdot m^{-1}$ (Bassett & Howley, 2000; Costill et al., 1973; A. M. Jones & Carter, 2000; Turner, Owings, & Schwane, 2003). Oksygenopptaket stabiliseres (steady-state) etter ~ 3 min på submaksimale belastninger hos normale individer (A. M. Jones et al., 2011; Rønnestad & Mujika, 2013). Under submaksimale belastninger ($\leq LT$) er forholdet mellom oksygenopptak og belastning lineær. Over submaksimale belastninger ($\geq LT$) kan det ses en forsinket ny steady-state med høyere oksygenkostnad enn predikert fra den submaksimale belastning. Økningen defineres som « VO_2 -slow component» (A. M. Jones et al., 2011).

Det er sett betraktelig interindividuell variasjon i oksygenkostnad på submaksimale belastninger uavhengig om individene har lik VO_{2maks} . Dermed kan en med lav VO_{2maks} kompensere med bedre arbeidsøkonomi og i utgangspunktet prestere like bra som en med høyere VO_{2maks} . Bedring i arbeidsøkonomi kan være et resultat av bedret oksidativ kapasitet i muskulaturen, forandringer i rekrutteringsmønsteret til motoriske enheter,

reduksjon i ventilering og hjertefrekvens ved samme treningsintensitet og forbedret teknikk (Coyle, Sidossis, Horowitz, & Beltz, 1992; French, Madsen, Djurhuus, Mogens, & Preben, 1998; Joyner & Coyle, 2008). Forbedret arbeidsøkonomi skal i teorien føre til at utøveren klarer å gå fortere på det samme oksygenforbruket. Arbeidsøkonomi i skistudiene har tradisjonelt blitt målt som oksygenopptaket under aerobe steady-state forhold på submaksimale belastninger (Hoffman et al., 1994; Losnegard et al., 2011; Mahood et al., 2001; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Sandbakk et al., 2010; Skattebo, 2014; Østeras et al., 2002).

2.2.5 Anaerob kapasitet

Energikravet som kreves under en gitt distanse dekkes av aerobe og anaerobe prosesser (di Prampero, 2003). Under de første to til tre minuttene ved økt fysisk arbeidsbelastning fører oksygenopptakets langsomme økning til oksygen underskudd (Barstow & Mole, 1991; Hallèn, 2002; A. M. Jones et al., 2011; Åstrand et al., 2003). Før vi oppnår et steady-state-nivå der oksygenopptaket er likt med oksygenkravet på belastningen, dekkes energiomsetningen av anaerobe prosesser (Åstrand et al., 2003). Anaerobe energiressurser som kreatinfosfatlager (CrP), oksygenlager i venøse blodet og i strukturene som myoglobin vil ved økt fysisk arbeidsbelastning og oksygenkrav bidra til etablering av et nytt steady-state nivå. Dermed kan adenosintrifosfat (ATP) – konsentrasjonen i den arbeidende muskulaturen holdes noenlunde konstant (Barstow & Mole, 1991). Når en arbeidsbelastning krever en energiomsetning som er større enn de aerobe prosesser kan levere innenfor individets VO_{2maks} , må muskulaturen benytte seg av anaerobe energikilder. I biokjemien deles nedbrytningen av anaerobe prosesser i to perioder. Nedbrytningen av høyenergifosfatene CrP og ATP omtales som den alaktiske perioden, mens nedbrytningen av glukose (glukose 6-fosfat) angis som, den laktiske perioden. Disse to periodene overlapper hverandre, men den alaktiske perioden dominerer ved hurtige muskelkontraksjoner av kort varighet (Åstrand et al., 2003). Den anaerobe kapasiteten som muskulaturen kan utnytte er proporsjonal med mengden CrP som kan hydrolyseres og mengden $[La^-]$ som akkumuleres i kroppsvæsker i kroppen (di Prampero, 2003). Derfor er den anaerobe kapasiteten avhengig av muskelvolumet som er aktivt under arbeidet (Bangsbo et al., 1990; Bangsbo, Michalsik, & Petersen, 1993). Videre vil maksimal anaerob effekt (W) være en nøkkelfaktor som bestemmer prestasjon. Det vil si hvor effektivt et individ klarer å transformere metabolsk energi til effekt og fart (Sandbakk et al., 2010). Effekt kan oppgis i watt (W) og er arbeidet som

produseres over en bestemt tid. Maksimal anaerob effekt avhenger av neural aktivering i muskulaturen, muskelstyrke, muskelmasse og overføring av muskelkraft til ytre mekanisk arbeid (Coyle, 1995; Izquierdo et al., 2004; Medbo & Burgers, 1990; Rønnestad & Mujika, 2013; Wasserman et al., 2005).

2.3 Effekten av samtidig styrke- og utholdenhetstrening på styrke?

Styrke- og utholdenhetstrening gir ulike fysiologiske adaptasjoner og det er blitt foreslått at utholdenhetstrening hemmer styrkeutviklingen (Hakkinen et al., 2003). Mange idretter stiller krav til både styrke og utholdenhet for å prestere på høyest mulig nivå. Dog gir disse divergente treningsadaptasjonene utfordringer i hvordan treningen skal prioriteres. Pioneer arbeidet til Hickson (1980) undersøkte effekten av samtidig styrke- og utholdenhetstrening over en periode på 10 uker. Studien viste en lavere styrkeøkning i gruppen som trente samtidig styrke og utholdenhet sammenlignet med gruppen som kun trente styrke. Flere studier viser at samtidig styrke- og utholdenhetstrening interferer med utviklingen av styrke (Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000; Dudley & Djamil, 1985; Kraemer et al., 1995; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2012). Men det finnes studier med motstridende resultat (Hakkinen et al., 2003). I studien til Hakkinen og kolleger (2003) ble det imidlertid observert, tross signifikant økning i 1 RM i både styrkegruppen og styrke- og utholdenhetsgruppen, ingen forbedring i hurtig kraftutvikling (RFD) i samtidig styrke- og utholdenhetstreninggruppen. Forfatterne mente samtidig styrke og utholdenhet reduserte utviklingen av hurtig neural aktivering som dermed reduserte eksplosiviteten i muskulaturen. Videre ble det i studien til Kraemer og kolleger (1995) funnet ulike forandringer i tverrsnittsarealet i fibertypene ved å trene styrke, utholdenhet eller samtidig styrke- og utholdenhetstrening. De viste også inhibering av styrkeutviklingen i større grad ble påvirket hvis de samme muskelgruppene ble brukt både under styrke- og utholdenhetsøkten. Dette kan tyde på at samtidig styrke- og utholdenhetstrening har en mer lokal påvirkning (i musklene) enn systemisk effekt (Nader, 2006). Årsaken kan kanskje ligge i at muskelstyrken er redusert flere timer (≥ 4 timer) etter utholdenhetsøkten (Leveritt & Abernethy, 1999; Sporer & Wenger, 2003). Dette kan blant annet ses i sammenheng med redusert mulighet til å oppnå maksimal kraftutvikling i muskulaturen på grunn av manglende restitusjon fra utholdenhetsøkten (Nader, 2006; Raastad et al., 2010). Dermed hvis begge økter må gjennomføres på

samme dag, kan det tolkes som at styrkeøkten bør gjennomføres først for å få optimal styrkefremgang. Bruken av ulike muskelgrupper i utholdenhetsøkten i forhold til beinøkten ser ikke til å påvirke muskelstyrken (Sporer & Wenger, 2003). Dermed kan det ses som at effekten av utholdenhet på utviklingen av styrke påvirkes av hvilke muskelgrupper som til enhver tid trenes, treningsvolumet og når utholdenhetsøkten blir gjennomført i forhold til styrkeøkten (Nader, 2006; Raastad et al., 2010). I litteraturen har en studie på seks uker med tre ukentlige styrkeøkter sett redusert styrkefremgang med økende frekvens og volum av utholdenhetstrening. Det ble sett signifikant større styrkefremgang hos gruppen som trente utholdenhet hver tredje styrkeøkt i forhold til gruppen som trente utholdenhet hver styrkeøkt. En ren styrkegruppe hadde ikke overraskende størst styrkeøkning, mens ingen signifikant endring ble sett i kontrollgruppen. Styrkegruppen og gruppen som trente minst utholdenhet økte også signifikant muskelveksten i løpet av perioden. Ingen signifikant endring ble sett i de to andre gruppene (T. W. Jones, Howatson, Russell, & French, 2013). I kontrast finnes det i litteraturen studier som ikke har funnet forskjell i styrkeutvikling mellom samtidig styrke- og utholdenhetstrening i forhold til styrketrening alene (Bell, Petersen, Wessel, Bagnall, & Quinney, 1991; McCarthy, Pozniak, & Agre, 2002; Sale, MacDougall, Jacobs, & Garner, 1990).

2.4 Effekten av styrketrening på prestasjon i utholdenhetsidretter

Studier på utrente, moderat- til veltrente og eliteutøvere har vist indikasjoner på at korttids- og langtids utholdenhetsprestasjon kan økes med styrketrening. Studier har undersøkt hvordan tung styrketrening og eksplosiv styrketrening påvirker fysiologiske faktorer i utholdenhetsidretter. Studiene er gjort hovedsakelig på løping, sykling og noen på langrenn. Studiene varierer med tanke på treningsstatus, styrketreningsform og volum (intervensjon mellom 5 og 16 uker). Studiene varierer også om styrketreningen blir addert eller erstatter en del av utholdenhetstreningen.

2.4.1 Effekten av styrketrening på maksimalt oksygenopptak

Det har blitt hevdet at VO_{2maks} er den viktigste predikatoren for prestasjon i langrenn og andre utholdenhetsidretter (Ingjer, 1991; Saltin & Astrand, 1967). Siden styrke- og utholdenhetstrening har vist antagonistiske effekter (Hakkinen et al., 2003; Leveritt, Abernethy, Barry, & Logan, 1999; Nader, 2006), har dette resultert i at

utholdenhetsutøvere har unngått styrketrening i tro om at styrketrening gir en negativ effekt på utholdenhetsprestasjonen (Raastad et al., 2010; Sedano, Marin, Cuadrado, & Redondo, 2013). Derimot viser studier av samtidig styrke- og utholdenhets trening ingen eller liten endring i VO_{2maks} sett på langrennsløpere (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari, & Hakkinen, 2007; Paavolainen, Hakkinen, & Rusko, 1991; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002), syklister (Aagaard et al., 2011; Bishop et al., 1999; Hauswirth et al., 2010; Hickson, Dvorak, Gorostiaga, Kurowski, & Foster, 1988; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2010; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2011; Rønnestad et al., 2014; Sunde et al., 2010) eller løpere (Millet, Jaouen, Borrani, & Candau, 2002; Paavolainen, Hakkinen, Hamalainen, Nummela, & Rusko, 1999; Saunders et al., 2006; Sedano et al., 2013; Spurrs, Murphy, & Watsford, 2003; Storen, Helgerud, Stoa, & Hoff, 2008; Turner et al., 2003).

2.4.2 Effekten av styrketrening på arbeidsøkonomi

I en homogen gruppe med godt trente utøvere er kanskje arbeidsøkonomien en bedre prediktor for utholdenhetsprestasjon enn VO_{2maks} (Conley & Krahenbuhl, 1980). I litteraturen har det i langrennsstudier både blitt funnet forskjell i arbeidsøkonomi mellom styrke og kontrollgruppe med favør av styrkegruppen (Hoff et al., 2002), og det har også ikke blitt funnet forskjell mellom gruppene (Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari, et al., 2007; Paavolainen et al., 1991; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014; Østeras et al., 2002) etter 6-12 uker med styrketrening. I studier gjort på løp (Guglielmo, Greco, & Denadai, 2009; Johnston, Quinn, Kertzer, & Vroman, 1997; Millet et al., 2002; Paavolainen et al., 1999; Sedano et al., 2013; Spurrs et al., 2003; Storen et al., 2008; Taipale et al., 2010; Turner et al., 2003) og sykkel (Hansen, Raastad, & Hallen, 2007; Sunde et al., 2010; Vikmoen, Rønnestad, Ellefsen, & Raastad, 2015b) har det derimot blitt funnet bedret arbeidsøkonomi som redusert oksygenforbruk etter en periode med styrketrening. I kontrast er det også studier som ikke har funnet forskjell i arbeidsøkonomi etter samtidig styrke og utholdenhet ved løp (Ferrauti, Bergermann, & Fernandez-Fernandez, 2010; Taipale, Mikkola, Vesterinen, Nummela, & Hakkinen, 2013) og sykkel (Hauswirth et al., 2010; Jackson, Hickey, & Reiser, 2007; Psilander, Frank, Flockhart, & Sahlin, 2014; Rønnestad et al., 2010). På en gruppe duatleter ble det heller ikke sett

noen endring i arbeidsøkonomi ved løping ((upublisert (Vikmoen, Rønnestad, et al., 2015a)).

2.4.3 Effekt av styrketrening på utnyttelsesgrad og laktatterskel

VO_{2maks} og arbeidsøkonomi er to viktige bestemmende faktorer for prestasjon (Bassett & Howley, 2000). I tillegg vil også utnyttelsesgrad og LT påvirke utøverens utholdenhetsprestasjon (Bassett & Howley, 2000; Hallèn, 2002).

I studier på langrenn er det ikke funnet endring i LT uttrykt som $[La^-]$ -konsentrasjon på ulike stigninger (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012) og oksygenforbruk og effekt ved $1,8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [La^-]$ over baseline (Hoff et al., 1999; Østeras et al., 2002) og oksygenforbruk ved $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [La^-]$ (Paavolainen et al., 1991). Det er heller ikke funnet endring i LT på løp uttrykt som oksygenforbruk på $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [La^-]$ eller $[La^-]$ -konsentrasjon ved ulike hastigheter (Ferrauti et al., 2010; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Storen et al., 2008), eller på sykkelstudier (Aagaard et al., 2011; Bishop et al., 1999; Jackson et al., 2007; Psilander et al., 2014). Det er likevel noen studier som har vist effekt på forbedret LT. På en 2 km staketest på en konstantbelastning, ble det sett signifikant reduksjon i $[La^-]$ i styrkegruppen etter 8 uker med eksplosivstyrketrening. Dog ikke forskjellig fra kontrollgruppen (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007). I en sykkelstudie ble det også sett redusert $[La^-]$ -konsentrasjon under den høyeste effekten målt under en laktatprofil (Rønnestad et al., 2010). I en annen studie ble også sett redusert $[La^-]$ -konsentrasjon under submaksimale belastninger etter 12 uker med styrketrening på utrente menn (Marcinik et al., 1991). Videre er det observert forbedret utnyttelsesgrad under en 40 min anstrengelsestest etter 11 uker med styrketrening på syklist (Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). I motsetningen ble det ikke funnet forskjell i utnyttelsesgrad på $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} [La^-]$ etter en styrkeintervensjon på 25 uker utført på syklist (Rønnestad et al., 2014).

2.4.4 Effekt av styrketrening på anaerobe kapasitet

Anaerob kapasitet har blitt definert som akkumulert oksygenunderskudd under intens arbeidsbelastning til utmattelse under målinger fra 30 sek til 2-7 min (Bangsbo et al., 1993; Medbo & Burgers, 1990). Akkumulert oksygenunderskudd estimeres mellom energikravet og det faktiske oksygenopptaket under arbeidsbelastningen (Bangsbo et al.,

1990; Bangsbo et al., 1993; Medbo & Burgers, 1990) Men også produksjon og-/eller maks effekt over en bestemt tidsperiode, typisk 30 sek (Windgate), har blitt anvendt i studier (Losnegard et al., 2011; Ronnestad et al., 2010; Ronnestad, Hansen, Hollan, & Ellefsen, 2015).

I langrennstudiene til Losnegard og kolleger (2011) ble det etter 11 uker med styrketrening funnet signifikant høyere gjennomsnittlig effektproduksjon på en 5 min stakeergometer i styrkegruppen enn kontrollgruppen. I annen studie på stakeergometer ble det derimot ikke funnet forskjell mellom gruppene i gjennomsnittlig effektproduksjon på to uavhengige 3 min sprinttester (Skattebo, 2014). I studier på sykkel har det blitt vist økt anaerob kapasitet etter 8 til 25 uker med styrketrening (Chromiak et al., 2004; Psilander et al., 2014; Ronnestad et al., 2015; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Det ble funnet både signifikant og tendens til økt anaerob kapasitet på 30 sek Windgate test (Chromiak et al., 2004; Psilander et al., 2014; Ronnestad et al., 2015; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Dog hadde Chromiak og kolleger (2004) ingen kontrollgruppe som trente styrke og i de andre studiene var styrkegruppen ikke signifikant forskjellig fra kontrollgruppen (Psilander et al., 2014; Ronnestad et al., 2010; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Men det ble vist liten til moderat praktisk effekt av styrketreningen sammenlignet med kontrollgruppen (hhv, $ES= 0,49$ og $0,76$) (Ronnestad et al., 2015; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). I studien til Minahan og Wood (2008) ble oksygenunderskuddet undersøkt på utrente menn, men studien fant ikke signifikant forbedret anaerob kapasitet målt ved 120% av VO_{2maks} på et sykkelergometer etter en styrketreningsperiode. De hadde heller ingen kontrollgruppe (Minahan & Wood, 2008). Studie til Pizza og kolleger (1996) fant høyere maksimal akkumulert oksygenunderskudd (økt anaerob kapasitet) hos styrketrente sett i forhold til utholdenhetsrente og utrente menn. Pizza og kollegene (1996) konkluderte at denne effekten kunne skyldtes økt muskelmasse i beina. Dog er det usikkerhet om effekten kunne skyldes styrketrening, genetisk predisponering eller en kombinasjon av begge (Pizza et al., 1996). Vikmoen og kolleger (2014) fant økt maks og gjennomsnittlig effekt på 30 sek Wingate-test gjennomført på kvinnelige syklister etter 11 uker med styrketrening.

2.4.5 Effekten av styrketrening på prestasjon

Studiene som undersøker effekten av samtidig styrke- og utholdenhetstrening i løp, sykkel og langrenn varierer i graden om prestasjonstester er inkludert i testprotokollene. I studiene som har inkludert prestasjonstester i sine protokoller omtales flere av de i neste avsnitt.

Langrennstudiene har variert med å bruke tid til utmattelse (TTU) eller tid brukt på en gitt distanse (TT). Losnegard og kolleger (2011) og Rønnestad og kolleger (2012) testet prestasjon utendørs, hvor Losnegard og kolleger (2011) gjennomførte to TT. Først nevnte studien undersøkt TT på 1,1 km med dobbelttak etterfulgt av en 1,3 km i friteknikk (45 min aktiv pause mellom TT). Rønnestad og kolleger (2014) gjennomførte en 7,5 km TT. Etter hhv. 11 og 12 uker med styrketrening fant ingen av studiene forskjell i tid mellom styrkegruppen og kontrollgruppen. Skattebo og kolleger (2014) gjennomførte tre prestasjonstester på et stakeergometer. Testdag 1 ble gjennomsnittlig effekt gjennomført på to 20 sek spurter etterfulgt (pause mellom) av en 3 min sprinttest. Testdag 2 ble en 3 min avsluttende test gjennomført direkte etter 10 min staking på en submaksimal belastning. Etter 10 uker ble det ikke funnet signifikant forskjell mellom gruppene, men både styrkegruppen og kontrollgruppen økte signifikant gjennomsnittlig effekt fra pre til posttest (Skattebo, 2014). Mikkola og kolleger (2007) fant heller ingen effekt på 2 km maksimal innendørs staketest etter 8 uker med eksplosiv styrketrening i styrkegruppen. Faktisk viste kontrollgruppen en signifikant bedring i økt hastighet ved posttest (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007). Studiene til Hoff og kolleger (1999, 2002) og Østerås og kolleger (2002) fant i motsetning signifikant bedret prestasjon i dobbelttak gjennomført som TTU på et stakeergometer. Alle studiene hadde en signifikant større økning i TTU i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Østerås et al., 2002). Intervensjonsperioden i de tre sistnevnte studiene var mellom 8 til 9 uker med 3 ukentlige økter. Intervensjonsstudiene brukte samme sittenedtrekksapparat og belastning tilsvarende 6 RM. I motsetning til de sist nevnte studiene brukte Losnegard og kolleger (2011), Rønnestad og kolleger (2012) og Skattebo og kolleger (2014) flere styrkeøvelser samt ulike belastninger gjennom intervensjonen. Mikkola og kolleger (2007) på sin side brukte lav belastning med fokus på eksplosivitet og hurtighet. I tillegg ble 27% av utholdenhetstreningen erstattet med eksplosivtrening (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007), hvor de andre studiene adderte styrke til utholdenhetstreningen (Hoff et al., 2002; Hoff

et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002).

I både sykkel- og løpsstudier har det blitt funnet forbedret prestasjon i 5 min anstrengelsestest direkte etter 180 – 185 min (sykkel) og 90 min (løp) på en submaksimal belastning etter 12 (Rønnestad et al., 2011) og 11 (Vikmoen, Rønnestad, et al., 2015b) uker med styrketrening. Videre har TTU ved maksimal aerob effekt (Sunde et al., 2010) og gjennomsnittlig effektproduksjon under en 40 min TT (Rønnestad et al., 2010) vist signifikant bedret tid og effekt i styrkegruppen, men ikke mellom gruppene etter en periode på 8 og 25 uker. Videre har det blitt funnet forbedret TTU under VO_{2maks} (Psilander et al., 2014) og ved 75% av VO_{2maks} (Marcinik et al., 1991) etter hhv. åtte og 12 uker med styrketrening. I studien til Marcinik og kolleger (1991) var bedringen også signifikant større enn kontrollgruppen. I Aagaard og kolleger (2011) ble det funnet signifikant større gjennomsnittlig effektproduksjon i styrkegruppen enn kontrollgruppen under en 45 min TT. I løpsstudier har det blitt funnet forbedret løpstid under 3 km (Sedano et al., 2013; Spurrs et al., 2003), 5 km TT (Paavolainen et al., 1999) etter 6 til 12 uker med samtidig styrke- og utholdenhetstrening. Kun Paavolainen og kolleger (1999) fant signifikant forskjell mellom styrke og kontroll. Det er også blitt sett forbedret TTU på maksimale aerob hastighet etter åtte uker (Storen et al., 2008) og forbedret løps TTU under maksimal belastning etter 10 uker med styrketrening (Hickson et al., 1988). Sist nevnte forfatter fant også forbedret TTU under 80-85% av VO_{2maks} på sykkel (Hickson et al., 1988).

Det finnes også motstridende funn hvor det ikke er funnet effekt av styrketrening i forhold til prestasjonstester på sykkel (Bastiaans, van Diemen, Veneberg, & Jeukendrup, 2001; Bishop et al., 1999; Levin, McGuigan, & Laursen, 2009) og løp (Vikmoen, Rønnestad, et al., 2015a). Muligens kan de ulike styrketreningsmetodene gi utslag i de negative funnene. I Bastiaans og kolleger (2001) kan det spekuleres i betydningen av eksplosivstyrketrening med lav belastning som i tillegg erstattet en del av utholdenhetstreningen forårsaket den manglende positive effekten. Det ble heller ikke sett endring i muskelmassen mellom gruppen (Bastiaans et al., 2001). Bishop og kolleger (1999) spekulerte i tross økning i 1 RM etter 12 uker med lavt styrketreningsvolum kunne muligens den negativ overføringsverdi i bevegelsesmønstrene mellom øvelsen knebøy og sykkel ikke gi utslag i 1 time TT. I

likhet med Bishop og kolleger (1999) spekulerte Levin og kolleger (2009) om manglende spesifisitet i styrkeøvelsen og bevegelsesmønsteret ga utslag i negativ sykkelprestasjon. I tillegg ble det sett spørsmålstejn i forhold til kort restitusjonstid mellom endt 6 uker intervensjon og påfølgende posttester kunne redusere effektutviklingen (Levin et al., 2009).

2.4.6 Underliggende mekanismer som følge av styrketrening

Selv om ikke alle studier peker i samme retning, er det flere studier på trente til godt trente utholdenhetsutøvere som kan indikere at både korttid (Hickson et al., 1988; Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Storen et al., 2008; Østeras et al., 2002) og langtids utholdenhetsprestasjon (Hickson, 1980; Hickson et al., 1988; Marcinik et al., 1991; Ronnestad et al., 2010) kan bedres ved styrketrening (Aagaard & Andersen, 2010).

Det er foreslått ulike mekanismer som kan forklare de observerte gunstige effektene av styrketrening på prestasjon. Økt muskelstyrke fører til økt maksimal kraftutvikling og dermed kan kraftutviklingen under en bevegelsessyklus ved samme absolutte intensitet reduseres til en lavere relativ kraftbruk (relativ til maksstyrke) (Aagaard et al., 2011; Rønnestad & Mujika, 2013). Potensielt kan dette føre til mindre konstriksjon av blodårene under en gitt arbeidsbelastning siden muskelkontraksjonene utgjør relativt lavere andel av maksimalkraft (Aagaard & Andersen, 2010; Hoff et al., 1999). Dette kan dermed redusere relative intensiteten og fasilitere til bedre blodgjennomstrømning i den arbeidende muskulaturen (Aagaard et al., 2011; Heggelund, Fimland, Helgerud, & Hoff, 2013; Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Rønnestad & Mujika, 2013; Storen et al., 2008; Sunde et al., 2010). En annen mulighet er at økt RFD vil redusere tid til nødvendig kraftutvikling i bevegelsessyklusen, som resulterer i lengre avspenningsfase mellom hver kraftinnsats. Resultatet kan være økt mean transit time og dermed bedre optimale forhold for oksidativ metabolisme i de arbeidende musklene (Rønnestad & Mujika, 2013). Det er vist at kontraksjon med kun 15% av maksimal kraft fører til konstriksjon av blodårene og redusert blodgjennomstrømning (Shephard, Bouhrel, Vandewalle, & Monod, 1988). Med kontraksjoner på 70% av maksimal kraft kan det føre til total blokkering av kapillærene (Shephard et al., 1988). Dette kan resultere til konstriksjon av blodet ved repetitive kontraksjoner under dynamiske bevegelser i dobbelttak (Hoff et al., 2002; Shephard et al., 1988).

Videre er transformasjon fra muskelfibertype IIx til mer oksidative muskelfibre type IIa sett som følge av styrkeintervensjon (Aagaard et al., 2011; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Disse mer utholdende fibrene som samtidig kan produsere relativt høy effekt- og kraftutvikling kan i teorien gi bedre utholdenhetsprestasjon (Bottinelli, Pellegrino, Canepari, Rossi, & Reggiani, 1999; Rønnestad & Mujika, 2013). Som følge av økt maksimal styrke også i type I muskelfibrene kan det resultere i at disse mest oksidative lav-terskelfibrene gir et større bidrag til arbeidet og utsetter rekrutteringen av høy-terskelfibrene type IIa og IIx (Bottinelli et al., 1999). Man antar også at type II fibrene er mindre energiøkonomiske og man vil med andre ord kunne utsette tømningen av de begrensende glykogenlagrene og redusere total muskeltrøtthet. Dette kan resultere i forlenget TTU og forbedret høyintensitetskapasitet etter å ha arbeidet på en relativ lavere belastning på en submaksimal intensitet (Coyle et al., 1992; Hickson et al., 1988; Horowitz, Sidossis, & Coyle, 1994). Dette kan være avgjørende i forhold til en sluttspurt i langløp, hvor større glykogenlagre er tilgjengelig og effekten kan dermed økes.

En annen mer mekanisk underliggende mekanisme er strekkforkortningssyklusen i muskelseneapparatet. Økt muskelstivhet, som følge av styrketrening, kan effektivt overføre større krefter gjennom stavene til underlaget i starten av en stasesyklus (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007). Pre-aktivering av muskulaturen kan øke lagring av elastisk energi i muskelsenekomplekset under fleksjonsbevegelsen i stasesyklusen (Lindinger, Holmberg, Muller, & Rapp, 2009). Særlig i m. triceps brachii er det observert endret neuromuskulært mønster, hvor muskulaturen i armene og skuldrene får en økt pre-aktivering under økende hastighet i dobbelttak teknikken (Lindinger, Holmberg, et al., 2009). Ved pre-aktivering under fleksjonsfasen i albuen er det blitt observert økt EMG-aktivitet. Videre har det fra den hurtige bevegelsesovergangen fra fleksjon til ekstensjon blitt registrert lavere EMG-aktivitet. Denne EMG-aktiviteten under bevegelsesovergangene i albuen er dermed med til å underbygge effekten av lagret elastisk energi som frigjøres under strekkforkortningssyklusen (Lindinger, Holmberg, et al., 2009). Videre kan forlengingen av muskelen under fleksjonsbevegelsen fasilitere til et reflekspotensiale, som kan bidra i kraftproduksjonen i en stavesyklus (Meunier & Pierrot-Deseilligny, 1989; Nilsson, Tinmark, Halvorsen, & Arndt, 2013). Dette gjør at langrennsløpere kan benytte seg av lagret energi, som kan brukes i konsentrisk fase i stasesyklusen og dermed potensielt

reducere oksygenkostnaden under arbeidet (A. M. Jones & Carter, 2000; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007).

2.5 Stakekinematikk, syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens

Den gjennomsnittlige hastigheten i verdenscupen i langrenn har økt betraktelig det siste to tiårene (Stoggl, Muller, & Lindinger, 2008). For å møte disse kravene har bl.a. staking med dobbelttak utviklet seg. Karakteristikken bak denne teknikken er økt kraft i bein og armer, kortere kontakttid i stavsyklusen med lengre avspenningsfase og sykluslengde (m) (Stoggl, Muller, Ainegren, & Holmberg, 2011). Økt prestasjon er assosiert med disse parameterne (Holmberg et al., 2005; Stoggl & Holmberg, 2011). Med varierende grad, bidrar over- og underkroppen til fremdriften i langrenn. I dobbelttak er fremdriften hovedsakelig generert fra overkroppen mens underkroppens muskulatur stabiliserer og assisterer bevegelsen (Holmberg et al., 2005). Dog har muskulaturen i underkroppen en større aktivering, vist ved EMG, enn antatt i staking (dobbelttak) for elite langrennsløpere (Holmberg et al., 2005). Langrennsløpere på et høyere nivå, vist ved tidligere studier, tenderer mot å bruke lengre sykluslengder (m) med samme syklusfrekvens (Hz). Denne forskjell i sykluslengde er foreslått å være relatert til utøverens muskulære styrke og effekt (Lindinger, Stoggl, Muller, & Holmberg, 2009; Stoggl, Lindinger, & Muller, 2007a). Likevel ses det under hastighetsøkning fra submaksimale mot maksimale hastigheter økning i syklusfrekvens samt reduksjon i sykluslengde (Nilsson, Tveit, & Eikrehagen, 2004; Stoggl & Muller, 2009; Stoggl et al., 2011).

I en moderne effektiv staketeknikk ses det en høy startposisjon med ekstensjon i hofter/kne og plantarfleksjon i ankel. Videre flyttes kroppsmassen (kg) frem i fartsretningen sammen med en aktiv fleksjon i leddene. Disse faktorene sammen med en senking av senter (truncus) for gravitasjonskraften genererer økt kraft i et stavtaket (Stoggl et al., 2011). Eksplosiviteten i hofter, kne og ankelmuskulaturen har vist seg å være viktig i det å oppnå en høy utgangsposisjon hurtig før neste stavsyklus inntreffer (Holmberg, 2005; Stoggl et al., 2011). Stoggl og kolleger (2011) så en sammenheng mellom maksimal kraft, RFD og knebøyhopp, med utviklingen av maks hastighet i dobbelttak. De så også at maksimal effekt og 1 RM hadde sammenheng med sykluslengden under både submaksimale og maksimale hastigheter (Stoggl et al., 2011).

Større kraft og effekt i muskulaturen og dermed økt stavkraft er sett hos raskere langrennsløpere sammenlignet med langsommere langrennsløpere (Stoggl et al., 2007a). Holmberg og kolleger (2005) uttrykte at hurtige langrennsløpere har en teknikk mer lik sprintere (dobbelttak), med kortere relativ kontakttid og en lengere relativ avspenningstid under en stavsyklus. En kortere tid med muskelaktivering med lengre avspenningsfase i stavsyklusen og mer dynamisk bruk av underekstremiteten kan ha en positiv effekt på arbeidsøkonomien i dobbelttak særlig ved høye hastigheter. Videre ses det også at oksygenopptaket fra blodet korrelerer positivt med sykluslengde, avspenningstid og tid til oppnådd maks kraft i en stavsyklus (Stoggl, Bjorklund, & Holmberg, 2013).

På bakgrunn av teorien og formålet med studien har det blitt utarbeidet en problemstilling og to hypoteser;

3. Problemstilling

Vil 8 uker med tung styrketrening i tillegg til et høyt volum av utholdenhetstrening forbedre tid til utmattelse etter staking i 110 min på en submaksimalbelastning?

Sekundert vil effekten av styrketrening påvirke de fysiologiske variablene oksygenforbruk, hjertefrekvens, RER, laktat samt opplevd anstrengelse, EMG- aktivitet, og sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid under 110 min submaksimal belastning hos godt trente mannlige langrennsløpere?

3.1 Hypotese 1

H₀: Effekten av tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstrening øker signifikant prestasjon i TTU etter 110 min submaksimal staking sammenlignet med kun utholdenhetstrente mannlige langrennsløpere.

H₁: Effekten av tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstrening øker ikke signifikant prestasjon i TTU etter 110 min submaksimal staking sammenlignet med kun utholdenhetstrente mannlige langrennsløpere.

3.2 Hypotese 2

H₀: Effekten av tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstrening forbedrer signifikant de fysiologiske variablene oksygenforbruk, hjertefrekvens, RER, laktat samt opplevd anstrengelse, EMG-aktivitet og sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid under 110 min submaksimal staking sammenlignet med kun utholdenhetstrente mannlige langrennsløpere.

H₁: Effekten av tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstrening forbedrer ikke signifikant de fysiologiske variablene oksygenforbruk, hjertefrekvens, RER, laktat samt opplevd anstrengelse, EMG-aktivitet og sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid under 110 min submaksimal staking sammenlignet med kun utholdenhetstrente mannlige langrennsløpere.

4. Metode

4.1 Utvalg

Tjueni mannlige langrennsløpere ble rekruttert gjennom private langrennslag, skiklubber og Høgskolen i Lillehammer. Forsøkspersonene (FP) var godt trent ($VO_{2\text{maks}} > 65 \text{ mL kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) (Losnegard et al., 2011) og konkurrerte i en av disiplinene FIS marathon cup (Swix ski classic cup), allround langrenn eller skiskyting. Som inklusjonskriterier skulle FP være i alderen 18-45 år samt være friske og skadefrie ved oppstart av studien. FP ble ekskludert fra studien hvis de hadde drevet systematisk tung styrketrening ($\geq 80\%$ av 1 RM), mer enn to økter per uke de siste seks måneder før prosjektstart. Et detaljert informasjonsskriv ble utlevert og FP gav skriftlig informert samtykke til å delta (vedlegg 1). All data ble behandlet etter forskrifter som gjelder anonymitet ovenfor FP (Laake, Olsen, & Benestad, 2008). Prosjektet ble godkjent av lokal etisk komite ved Høgskolen i Lillehammer og samt godkjent av Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS.

Etter pretesting valgte FP i samråd med sin trener hvilken gruppe de skulle delta i under intervensjonsperioden. Metodisk ville randomisering vært det optimale i allokering av FP til treningsgruppene. Dette lar seg vanskelig gjøre med eliteutøverne som følger et rigid treningsprogram og som har lite tid utenom dette. Dermed fikk FP avgjøre hvilken gruppe som passet best til deres treningsforløp, og dermed øke sannsynligheten for å fullføre studien. Fordelingen ble 11 FP i vibrasjonsstyrkegruppen (VIB), 10 personer i tradisjonellstyrkegruppen (TRAD) og åtte i kontrollgruppen (KON). Karakteristikken til gruppene fremstilles i tabell 1. Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene i baselineverdiene ved pretest. VIB gjennomførte de samme styrkeøvelsene med samme antall serier og antall RM som TRAD, eneste forskjell var at det var vibrasjoner i vaieren. Enkelte studier har indikert at det å tilføre vibrasjoner til en styrkeøvelse akutt kan øke den maksimale kraftutviklingen (Rønnestad, 2009a, 2009b) og at man dermed kan tenke seg et litt større akutt stimuli som potensielt kan forbedre treningsadaptasjonene. Imidlertid ble det i denne studien ikke funnet noen forskjell mellom VIB og TRAD i adaptasjoner til intervensjonsperioden (jmf. første avsnitt i resultatkapitlet). Derfor ble VIB og TRAD slått sammen og sett på som kun én styrkegruppe (STR). Fordelingen ble dermed 21 FP i STR og 8 i KON. Videre

beskrivelser av metode- og resultatkapittelet presenteres som to grupper (STR og KON).

To FP måtte avbryte intervensjonen grunnet sykdom og skade. Disse ble ikke tatt med videre i statistiske analyser.

Tabell 1 Antropometriske data for vibrasjonstreningsgruppen, tradisjoneltreningsgruppen, kontrollgruppen og styrkegruppen (STR; sammenslåing av vibrasjon og tradisjonell styrketrening).

	Vibrasjon (n= 11)	Tradisjonell (n= 10)	Kontroll (n= 8)	STR (n= 21)	p-verdi
Høyde (cm)	182 ± 8	182 ± 4	183 ± 7	183 ± 8	is
Vekt (kg)	78,1 ± 8,0	76,8 ± 5,8	77,0 ± 7,8	78,2 ± 7,6	is
Alder (år)	24 ± 6	23 ± 2	27 ± 7	23 ± 4	is
Fettprosent	11,9 ± 2,2	12,6 ± 2,4	11,6 (n=1)	12,2 ± 2,3	is
VO _{2maks} stakemølle (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	67,3 ± 4,4	69,5 ± 6,0	66,3 ± 7,9	68,5 ± 5,3	is

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. P-verdi er mellom alle gruppene. is = ikke signifikant

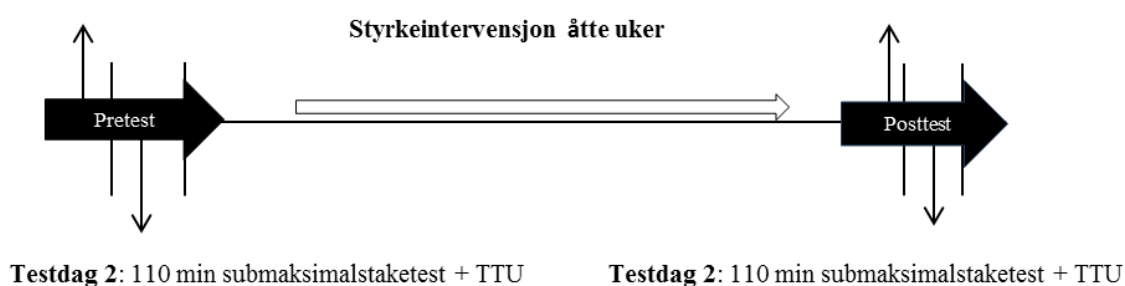
4.2 Eksperimentelt design

Før og etter åtte uker med treningsintervensjon gjennomførte FP to testdager (24-48 timer mellom hver testdag). Testdag 1 bestod av maksstyrketester i tre øvelser etterfulgt av en times pause før laktatprofil og VO_{2maks} test ble gått på en stakemølle. På testdag 2 startet FP med en 110 min submaksimal staketest bestående av 10 min oppvarming, 90 min submaksimal staking samt de to første belastningene fra laktatprofiltesten (2x5 min). Direkte etter 110 min submaksimale staketesten gikk FP en trappetest til utmattelse, hvor tid til utmattelse ble registrert. Dagen før testdagen skulle FP ikke trene en hard økt (HF > 85% av maksimal hjerterefrekvens), samt unngå å trene tidligere på selve testdagen. Samme testrekkefølge av FP og testledere ble benyttet under pre- og posttestingen. Testprosedyrene var identiske under pre- og posttest. FP gikk på samme absolutte hastighet under den submaksimale staketesten. Imidlertid kunne hastigheten på laktatprofilen økes ytterligere i forhold til pretest testdag 1. Dette var nødvendig for at FP skulle oppnå $[La^-] > 4,0 \text{ mmol/L}^{-1}$.

STR gjennomførte et styrketreningsprogram med tre økter ukentlig. FP måtte utføre ≥ 85 % av styrkeøkterne for å tas med i de statistiske analyser. KON kunne ikke trene tung styrketrening i intervensjonsperioden, men fortsatte sitt regelmessige treningsforløp. Prosjektet startet med pretest i midten av april og ble avsluttet med posttest i starten av juli. Oversikt over studiedesignet og forløp fremstilles i figur 1.

Testdag 1: maksstyrke + laktatprofil og VO_{2maks} test

Testdag 1: maksstyrke + laktatprofil og VO_{2maks} test



Figur 1 Oversikt over forløpet i intervensjonsstudien. TTU = tid til utmattelse.

4.3 Treningsintervensjon

STR utførte en åtte ukers styrketreningsintervensjon. KON kunne i denne perioden ikke trene tung styrke, kun styrke i form av kjernestabilitet og mage/rygg- øvelser. Under perioden fortsatte begge gruppene sitt vanlige treningsprogram, hovedsakelig utholdenhetstrening i form av langkjøring og intervaller. Utholdenhetstreningen ble delt inn i tre hjertefrekvenssoner: lav 60- 82%, moderat 83- 87% og høy 88- 100% av maksimal hjertefrekvens (Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Erfaringsmessig er det relativt liten forskjell i total mengde utholdenhetstrening blant utøverne som satser på elitenivå, derfor ønsket vi ikke å legge noen restriksjoner på selve utholdenhetstreningen. All trening skulle uansett loggføres i en treningsdagbok som lå i en opprettet dropbox på internett.

Styrkeøvelsene bestod av sittende nedtrekk, stakeimitasjonsøvelse og stående tricepspress, og ble gjennomført i denne rekkefølgen. Bortsett fra stakeimitasjon var utførelsen av øvelsene lik som under 1 RM- testene testdag 1 (se prosedyre avsnitt, testdag 1). Stakeimitasjon ble utført med FP stående bakenfor en skråbenk med justerbar rygg (GYM2000 Løs benk rett/skrå, GYM2000 AS, Vikersund, Norge). Skråbenken ble plassert mellom FP og kabeltrekkapparatet (figur 2). Ryggen på skråbenken ble justert til å passe i hoftehøyde, slik at FP fikk støtte/stabilitet i hoften. Utgangsposisjon for FP var å stå lett fremoverbøyd med hoftebreddes avstand mellom beina, og det stakelignendehåndtaket ble ført ned til hodehøyde. Bevegelsen ble fullført

med å ekstendere i skulderleddet i en ned-bakut bevegelse inntil håndtaket stoppet i hoftehøyde. Albuene ble holdt konstant i lett fleksjon gjennom hele bevegelsen.



Figur 2 Stakeimitasjonsøvelsen 1. Utgangsposisjon 2. Midtposisjon 3. Sluttposisjon

Før styrkeøkten hadde FP 10 min generell oppvarming på ergometersykkel eller løp (12-15 Borgskala). Deretter en spesifikk oppvarming for hver individuelle øvelse som ble gjennomført innen styrkeseriene med tyngre belastninger startet. Sittende nedtrekk hadde to serier à 10 repetisjoner og stakeimitasjon og tricepspress hadde en serie à 10 repetisjoner (motstanden 35-40 % av 1 RM). Antall serier, repetisjoner og pauser var lik for alle øvelsene i samme økt, men varierte mellom ukene (tabell 2).

Tabell 2 Styrketreningsprogram under åtte uker intervensjon.

Uke	1-3	Pause	4-6	Pause	7-8	Pause
Økt 1	3 x 10 RM	2 min	3 x 8 RM	2 min	3 x 6 RM	2 min
Økt 2	3 x 12 90 % RM	1 min	3 x 10 90 % RM	45 sek	3 x 8 90 % RM	2 min
Økt 3	3 x 6 RM	2 min	3 x 5 RM	3 min	4 x 4 RM	3 min

Sett x repetisjoner, RM: repetisjon maksimum

I hver uke under første og tredje økt skulle motstanden være så tung at FP så vidt greide den siste repetisjonen (100% RM). Klarte FP alle repetisjonene skulle belastningen økes ved neste ukes økt. Andre økten i hver uke var submaksimal, 90% RM. Her skulle motstanden tilsvare at FP kunne klart 3-4 repetisjoner til etter endt serie. Hver repetisjon skulle gjennomføres så eksplosivt som mulig i konsentrisk fase (1 sek varighet) og rolig i eksentrisk fase (varighet 2-3 sek). Bakgrunnen til dette er at fokuset på å bevege en ytre motstand hurtig som mulig (konsentrisk) og ikke den faktiske hastigheten på

bevegelsen, kan gi en treningsrespons som ses ved spesifikk hastighetstrening (eksplosiv trening) (Behm & Sale, 1993; Heggelund et al., 2013).

Alle øvelser ble gjennomført med stakelignendehåndtak og den totale tidsbruken for en økt inkludert oppvarming var på ~ 35-40 min. Under hver økt var det alltid tilstede, med noen unntak, en veileder. Dette for å sikre progresjon i belastningene og riktig løfteteknikk. FP kunne også trene på andre tidspunkter eller steder (under samling osv.), dersom det var nødvendig for deres treningsforløp. En FP trente selv under intervensjonsperioden, med unntak av to oppfølgingsøkter grunnet bosetting utenfor Lillehammer. Dog fikk alle som trente på en annen lokalisasjon lånt med seg et stakelignendehåndtak.

Alle FP førte styrketreningsdagbok gjennom hele intervensjonsperioden hvor oppmøte og antall kg ble notert. Midtveis i intervensjonen ble også en kostholdsregistrering gjennomført, hvor STR skulle registrere alt inntak av mat og drikke så nøyaktig som mulig. Totalt fire dager ble loggført i treningsuke 4 og 5, hvorav en av disse dagene var helgedag. Dette ble gjort for å vurdere om STR hadde et energiinntak som var optimalt for effektiv muskelvekst under intervensjonsperioden. Matinntak som blir veiet (gram) er ansett som en valid metode uten supervisjon av veileder (Bingham, 1987). FP fikk utlevert en standardisert matdagbok med instruksjonsmal, samt en digital vekt (Vera 67002; Soehnle-Waagen GmbH & Co, Murrhardt, Germany; presisjon 1 g). Matdagboken ble plottet/analysert i ernæringsprogrammet Kostholdsplanleggeren (Kostholdsplanleggeren). I tabell tre vises resultatet over STR kostholdsregistrering. Ifølge bl.a. American College of Sports Medicine (ACSM) sine retningslinjer for optimalt ernæringsinntak for aktive utholdenhet- og styrkeutøvere (Rodriguez, DiMarco, & Langley, 2009), ligger STR innen for disse anbefalingene. I tillegg for å sikre tilstrekkelig proteininntak i løpet av styrkeintervensjonen/øktene, fikk STR utdelt en proteinsjokolade før hver styrkeøkt (Big 100 Bar Peanøtt Sjokolade, 30 g protein, Proteinfabrikken.no). FP som ikke kunne møte på HiL til en eller flere styrkeøkter, fikk med seg proteinsjokolader til antall økter gjennomført utenfor HiL.

Tabell 3 Gjennomsnittlig energiinntak over fire dager med kostholdsregistrering, gjennomsnittlig energiinntak g/kg/kroppsvekt per dag og gjennomsnittlig totale energiinntak. Samt andel av kostens totale energiinnhold som kommer fra karbohydrat, fett og protein uttrykt som energiprosent (E%).

	Fett	Karbohydrat	Protein	Totalt energiinntak (kcal)
Gjennomsnittlig energiinntak (kJ)	4109 ± 160	7947 ± 282	2451 ± 768	3522 ± 100
g/kg/kroppsvekt per dag	1,4 ± 0,4	6,1 ± 1,5	1,9 ± 0,4	
Energiprosent (E%)	28,3 ± 37,6	54,8 ± 66,2	16,9 ± 18,1	

kJ: kilojoule, g: gram, kg: kilogram, kcal: kilokalorier

4.4 Prosedyrer

4.4.1 Testdag 1:

Testdag 1 bestod av 1 RM- tester etterfulgt av en times passiv pause før laktatprofil og VO_{2maks} . 1 RM ble testet i øvelsene sittende nedtrekk, benkopptrekk og tricepspress. Testdag 1 startet med generell oppvarming på en ergometersykkel i 5-10 min. FP skulle sykle på en selvvalgt motstand som tilsvarte lett anstrengelse (12-15 på Borgskala). Deretter fulgte fire ulike kroppsøvelser med bruk av store muskelgrupper (10 x spenst hopp; situps; pushup; rygghev). Videre kom en spesifikk oppvarming bestående av 2 sett à 10 repetisjoner à 20-30 kg og 6 repetisjoner à 30-40 kg. Den spesifikke oppvarmingen ble utført som de to første seriene under hver av øvelsene før maksstyrkemålingene ble registrert.

Startbelastningen under måling av 1 RM tilsvarte 95% av forventet 1 RM. Ved godkjente løft ble motstanden økt med 2-5%, helt til FP ikke klarte å fullføre repetisjonen og hadde to underkjente løft. Det siste godkjente løftet ble registrert som 1 RM i et testskjema (vedlegg 2). Pausen mellom løftene var to min. Under testene sittende nedtrekk og tricepspress ble et selvkonstruert håndtak festet til kabeltrekkapparatet (figur 3) (Losnegard et al., 2011). Håndtaket ble benyttet til å simulere mest mulig lik skulderposisjon og bevegelse som i en reell stakebevegelse. Alle øvelsene ble instruert av forskningsleder og verbal feedback ble gitt ved korrigerings. Det ble også gitt verbal motivasjon under øvelsene for å sikre maksimal innsats av FP.



Figur 3 Stakeimitasjonshåndtaket som ble benyttet under maksstyrketestene og styrketreningsintervensjonen.

Korrekt utførelse av øvelsene beskrives videre:

Sittende nedtrekk: Utgangsstilling, lett bakoverlent med rett rygg og blikket festet i trinsen øverst på kabeltrekkapparatet (GYM2000, belastningsskiver til 150 kg, GYM2000 AS, Vikersund, Norge). Overkroppen holdes fiksert gjennom hele bevegelsen og FP trekker det stakelignendehåndtaket ned mot brystkassen. Øvelsen er godkjent når håndtaket er under haken (figur 4).



Figur 4 Sittende nedtrekk. 1. utgangsposisjon 2. sluttposisjon

Benkopttrekk: FP ligger mageliggende på en spesialdesignet benk (GYM2000 Liggende Ro-Tak, GYM2000 AS, Vikersund, Norge), med haken berørende kanten på benken. Armene henger rett ned (90 grader fleksjon i skulderleddet) på siden av benken med et skulderbredt tak i en 20 kg vektstang (Olympiastang 270, 220 cm, Mobeck A/S, Norge). Blikket er festet ned i underlaget og benene er festet ved ankene. FP trekker

vektstangen mot brystet samtidig som brystkassen konstant er i kontakt med benken (figur 5). Øvelsen er godkjent når FP slår vektstangen i undersiden av benken.



Figur 5 Benkopttrekk. 1. Utgangsposisjon 2. Sluttposisjon

Tricepspress: FP står med samla/eller i gangstående med en fotsbredd mellom beina 80 cm fra kabeltrekkapparatet (GYM2000, belastningsskiver til 150 kg, GYM2000 AS, Vikersund, Norge). Overkroppen holdes fiksert, skuldrene er avlåst med albueene inntil overkroppen. Utgangsstilling: Albueene flektert i 130-140° og det stakelignende håndtaket presses ned mot golvet. Øvelsen er godkjent når albueene er helt ekstendert (figur 6).



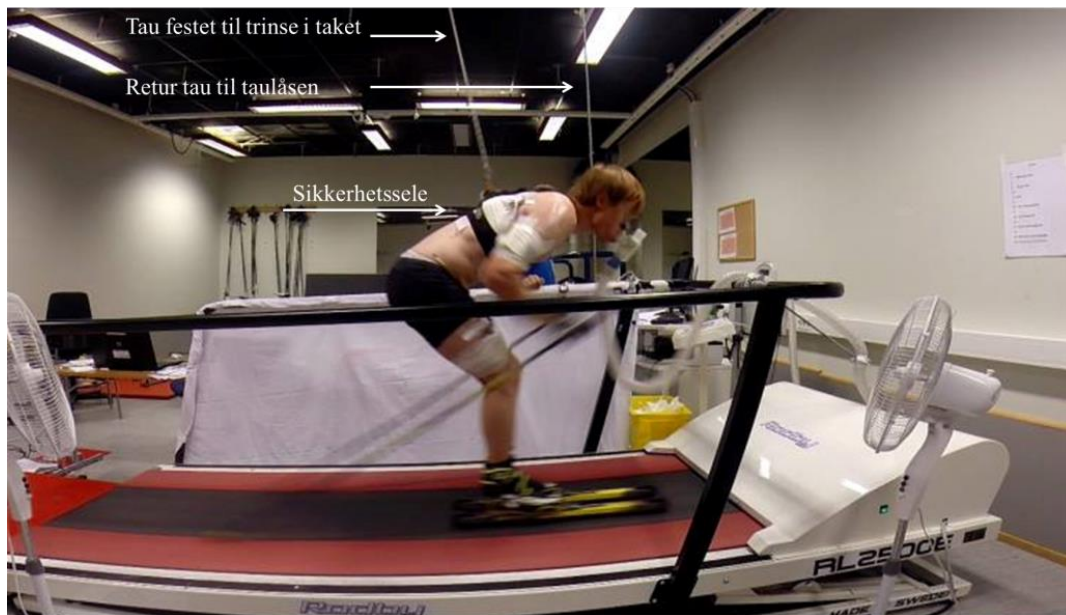
Figur 6 Tricepspress. 1. Utgangsposisjon 2. Midtposisjon 3. Sluttposisjon

4.4.2 Laktatprofil og VO_{2maks}, testdag 1.

Testing av laktatprofil og VO_{2maks} ble gjennomført på en rulleskimølle Rodby RL2500E (Rodby Innovation AB, Hagby, Vänge, Sverige), spesialdesignet for klassisk teknikk med båndbredde 100 cm og båndlengde 250 cm. Alle brukte samme par klassiske rulleski (Swenor-fiberglass, 2150 g per par, Sport Import AS, Sarpsborg, Norge) for å

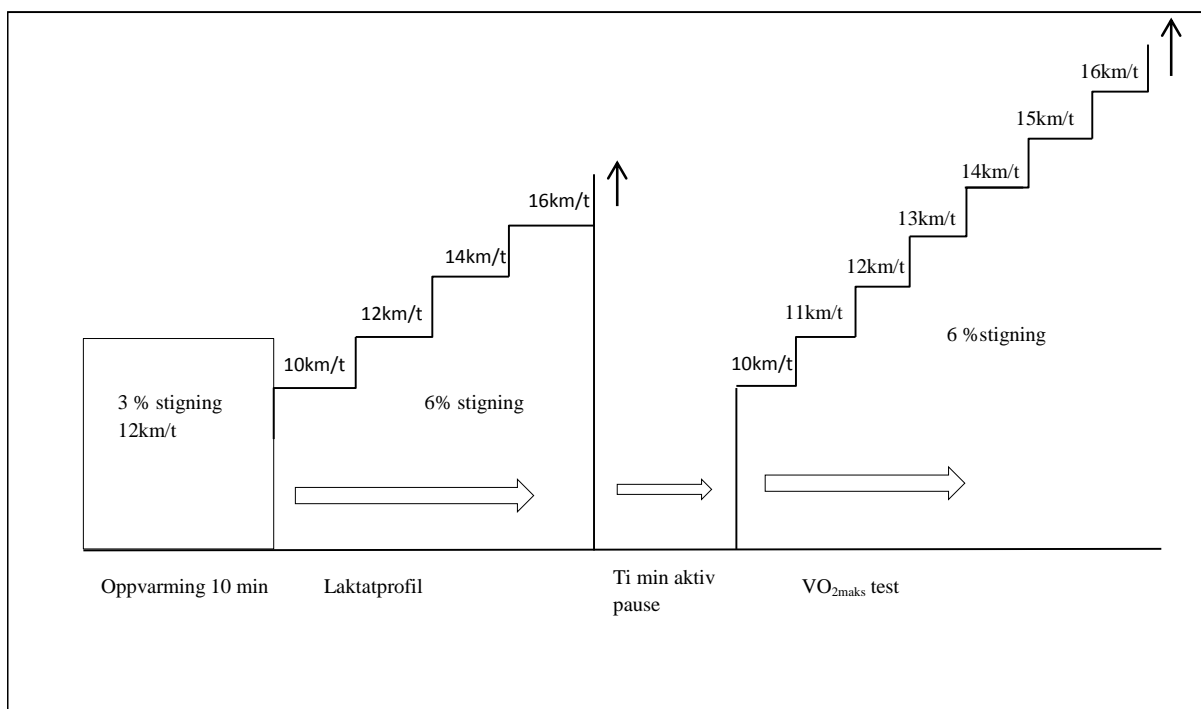
ekskudere variasjon i rullefriksjon (2.hjul). FP brukte egne private staver tilpasset individuell kroppshøyde. For å sikre stabil rullemotstand hadde FP 10 min oppvarming på tre prosent stigning på 12 km/t. Laktatprofilen startet på 10 km/t med en konstant stigning på seks prosent under alle dragene (figur 8). Stigningen som ble brukt er tilnærmet lik med andre lignende studier som undersøker stakespesifikke parametere innendørs (Hoffman et al., 1994; Mittelstadt et al., 1995). Stigningen ble valgt for å kompensere for manglende luftmotstand, samt at staketeknikken i langløp domineres av flatt til slakt terreng. Hvert laktatprofildrag hadde en varighet på fem min. Hastigheten økte med 2 km/t for hvert fullførte drag. Målingene av oksygenopptak (VO_2), respiratorisk utvekslingskvotient (RER) og hjerterefrekvens (HF), ble registrert fra to til fem min der FP pustet gjennom et to-veis munnstykke (Hans Rudolf Instr., USA). FP sin subjektive opplevelse av anstrengelse ble rapportert gjennom Borg's 6-20 skala (Borg, 1982) i slutten av draget. Stakemøllen ble stoppet ved fem minutt i ca. 1 min, og blod ble samlet fra fingertuppen og videre analysert for $[La^-]$ -konsentrasjonen i hele kroppen med Biosen C-line lactate analyser (EKF Diagnostic GmbH, Barleben, Germany). Målingene ble repetert for hver hastighetsøkning og gjennomsnittsverdier ble brukt i de statistiske analyser. Når FP fikk eller passerte 4 mmol/L^{-1} i $[La^-]$, ble laktatprofilen avsluttet. HF ble målt med en Polar S610i pulsklokke (Polar, Kempele, Finland). VO_2 og RER ble målt med et datametabolsk måleinstrument med miksekammer (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany). Ekspirasjonsgassen ble analysert i hvert utpust og oppgitt som et gjennomsnitt med 30 sek intervaller. Systemet har vist å gi valide og presise målinger (ved korte og lengre tester) ved bruk av miksekammer (Foss & Hallen, 2005). Før hver test ble gassanalysatoren kalibrert i henhold til brukermanualen. Gassanalysatoren ble kalibrert mot romluft og sertifisert kalibreringsgass med kjent konsentrasjon (5,85 % CO_2 , 15,0 % O_2 og restgass N). Luftstrømsturbinen for volummåling av inspirasjon- og ekspirasjonsgass (Triple V, Erich Jaeger, Hoechberg, Germany) ble kalibrert manuelt før hver test med 3 L 5530 serie kalibreringspumpe (Hans Rudolph, Kansas City, MO, USA). I tillegg ble temperatur, trykk og luftfuktighet kalibrert før hver test. Etter avsluttet laktatprofil fikk FP stake rolig (12 km/t på 3% stigning) i 10 min før VO_{2maks} testen startet.

Før VO_{2maks} testen startet fikk FP en sikkerhetssele på overkroppen. Selen var festet til et tau som kunne strammes opp med en taulås via en trinse i taket (Figur 7).



Figur 7 Oppsett med sikkerhetssele på overkroppen og tausystem under $VO_{2\text{maks}}$ test.

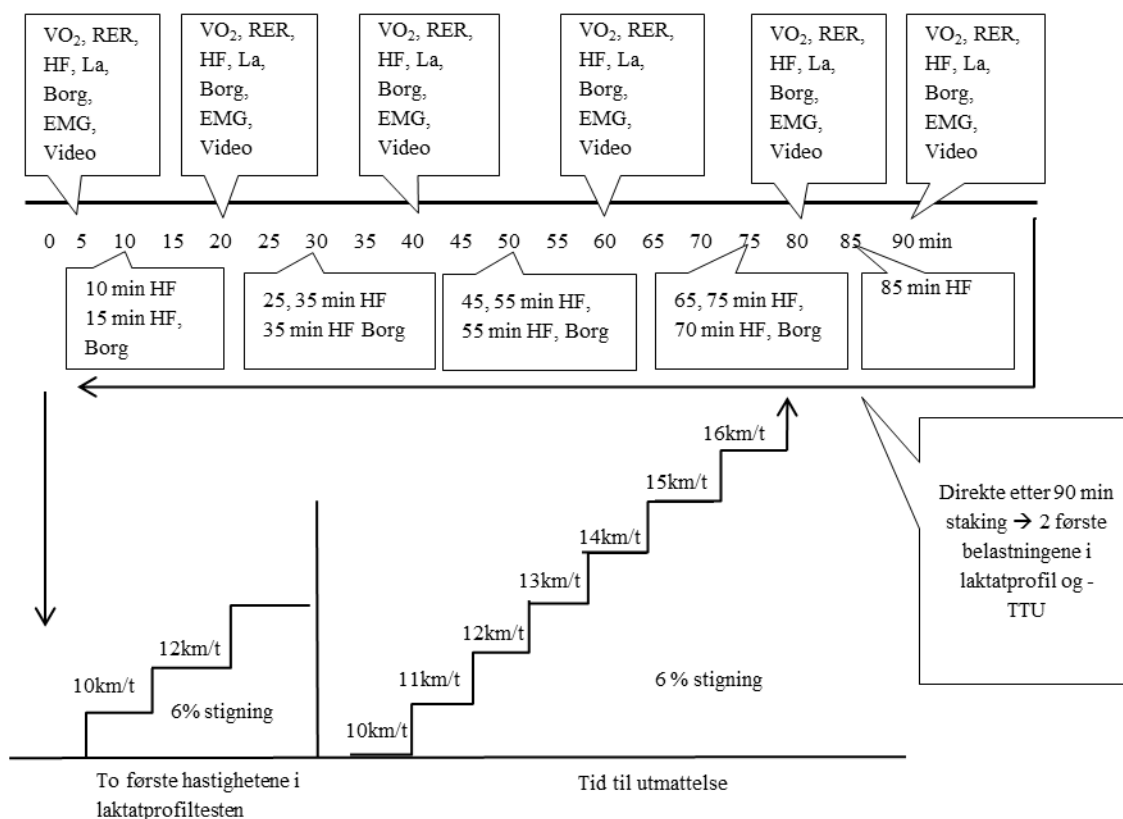
Testen startet på 10 km/t med en konstant stigning på seks prosent. For hvert fullførte minutt økte farten med 1 km/t. FP ble instruert til å stake til utmattelse og tid til utmattelse ble registrert (figur 8). FP ble verbalt pushet gjennom hele testen for å motiveres til å yte maks innsats. De fikk tilbakemelding på tid til neste hastighetsøkning, men ikke VO_2 eller HF tall. Etter utmattelse ble opplevd anstrengelse registrert gjennom Borg's 6-20 skala (Borg, 1982). Blod ble tatt fra FP fingertupp så hurtig som mulig etter endt test og analysert for $[La^-]$ -konsentrasjonen med samme instrument som under laktatprofiltesten. HF ble kontinuerlig målt med Polar S610i og HF_{maks} ble registrert som den høyeste verdien. $VO_{2\text{maks}}$ og RER_{maks} ble registrert som gjennomsnittet av de to høyeste målingene.



Figur 8 Laktatprofil- og VO_{2maks} protokoll

4.4.3 Testdag 2

Testdag to (langtidstest) startet med 90 min staking på en arbeidsbelastning tilsvarende 65% av VO_{2maks} . Den absolutte belastningen ble bestemt fra det lineære forholdet mellom arbeidsbelastning og oksygenkostnad fra laktatprofil og VO_{2maks} testdag 1. Samme rullskimølle fra testdag 1 ble brukt. FP startet med 10 min oppvarming på tre prosent stigning og 12 km/t. Alle FP brukte de samme klassiske rullskiene (hjul.2, Swenor-fiberglass, 2150 g per par, Sport Import AS, Sarpsborg, Norge)), samt sine egne private staver. Utgangslaktat og dagsform ble registrert før start av 90 min staketest. Under 90 min staketesten ble jevnlig målinger av VO_2 , RER, HF, $[La^-]$ og opplevd anstrengelse via Borg's 6-20 skala registrert (figur 9). Det ble gjort seks målinger à 4 min på VO_2 og RER. I løpet av 90 min ble møllen stoppet seks ganger (stopp ca. 1 min) for $[La^-]$ -måling. Gjennomsnittet av målingene ble brukt i statistiske analyser. I tillegg ble muskelaktiviteten i m. triceps brachii målt med elektromyografi (EMG (se EMG avsnitt)) ved flere tidspunkt under staketesten (figur 9 og EMG avsnitt).



Figur 9 Oversikt over testdag 2 protokollen og tidspunkt når ulike målevariabler ble registrert

GoPro Hero3⁺ kamera (San Mateo, CA, USA) ble brukt til videoanalyse av testen. Det ble filmet i en oppløsning på 1080p med 30 fps i ett minutt ved bestemte tidspunkt under 90 min staketesten (figur 9). Kameraet ble plassert 145 cm fra stakemøllen og filmet i sagittalplan på FP. Disse dataene ble videre behandlet i Kinovea software (Kinovea 0.8.15, www.kinovea.org). Her ble tid (sek) på stavsyklus (stav i sett til påfølgende stav i sett) og stavkontakt (stav i sett til stav av sett på møllen) beregnet i 10 påfølgende sykluser. Denne metoden er anvendt i andre lignende langrennsstudier (Stoggl et al., 2013). Det ble filmet ved de samme tidspunktene både testdag 1- og 2. Fra 90 min staketesten ble gjennomsnittet fra seks tidspunkter anvendt i de statistiske analysene (3-4, 18-19, 38-39, 58-59- 78-79 og 88-89 min). Fra laktatprofilene ble hastighetene 10, 12 og 14 km/t anvendt i analysene fra testdag 1, og 10- og 12 km/t fra testdag 2 (fra 3.30 og 4.30 min). I VO_{2maks} ble gjennomsnittet fra den siste hele fullførte belastning (km/t) anvendt i de statistiske analysene (registrering fra starten av hver hastighetsøkning). Tiden på syklus- og stavkontakt ble videre brukt for å beregne totale sykluslengde (m), syklusfrekvens (Hz), og syklustid (sek). Videre ble det under laktatprofil testdag 1 beregnet effekt og utnyttelsesgrad på 2 og 4 mmol/L⁻¹ [La⁻] og maks effekt (W_{maks}) som et gjennomsnitt av siste min i makstesten. Effektberegningene

ble kalkulert som et arbeid mot friksjon og gravitasjonskraften og sett inn i en formel: $[Pf = \mu \times m \times g \cos(\alpha) \times v]$, hvor μ er friksjonskoeffisienten, m er skiutøverens totale masse, g tyngdeakselerasjon ($9,81 \text{ m/s}^2$), v er farten på stakebåndet og α er stigningen på stakebåndet (Sandbakk et al., 2010). Direkte etter 90 min submaksimal staketest gjentas de to første belastningene i laktatprofiltesten før TTU- testen gjennomføres (figur 9). Alt ble gjennomført uten pause mellom stakeparametrene.

Alle de nevnte testene fra testdag 1- og 2 ble gjennomført i teknikken dobbelttak og etablerte og standardiserte testprosedyrer og instrumenter ble benyttet hele veien. Alle testene ble gjennomført på samme sted, under tilnærmet like forhold ($16\text{-}18 \text{ }^\circ\text{C}$) for alle FP og innenfor samme tidsrom på døgnet (± 2 timer) for hver person. Før alle VO_2 -målingene ble kroppsvekten målt med samme vektapparat (Seca, mod 7701321004, Tyskland). Under laktatprofilene, og submaksimal staketesten ble type væske og antall gram drukket væske notert. I tillegg ble kosthold på hver testdag notert. Dette ble gjort for å sikre likt væskeinntak og næringsinntak ved posttest. STR og KON hadde ikke forskjell i antall gram drukket væske under staketesten fra pre- til posttest (hhv. $p=0,17$ og $p=0,93$) eller relativ forskjell i drukket væske mellom gruppene ($p=0,59$). To vifter ble i tillegg anvendt for nedkjøling av FP og luftsirkulasjon under staketestene. All testing ble gjennomført på det idrettsfysiologiske testlaboratoriet ved Høgskolen i Lillehammer.

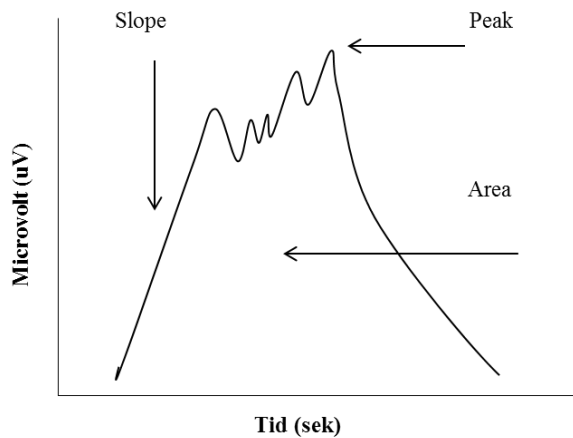
4.5 EMG prosedyrer

EMG-elektroder ble festet på m. triceps brachii, som er en av flere sentrale muskler som brukes ved teknikken dobbelttak (Holmberg et al., 2005). Elektrodeplassing til m. triceps brachii ble målt opp på FP i sittende posisjon. Skuldrene var abduert i 90 grader og innoverrotert 90 grader i skulderleddet med albue flektert 90 grader. Etter Seniam sine anbefalinger om elektrodeplassing ble m. triceps brachii målt opp og merket av med en vannfast tusj (Seniam.org). Deretter ble elektrodene (Duo-trode, 20 mm avstand fra senter til senter, EMG-electrodes, Myotronics Inc., Kent, WA, USA) plassert parallelt med muskelfiberretningen på midten av muskelbuen etter retningslinjer fra Seniam og Konrad (2005). Elektrodeplassing ble fotografert og oppmålingene (cm) på huden ble notert i et skjema (vedlegg 3) for å sikre identisk plassering ved posttest. EMG-kablene og elektrodene ble videre festet forsiktig med tape for å forhindre bevegelser under staketesten. Før elektrodeplassing ble huden rengjort med en

engangs barberhøvel (Wilkinson sword, Tyskland) for fjerning av kroppshår. Videre ble huden lett skrapet med et fint sandpapir og desinfisert med alkohol (70 % alkohol (Selefa, Helsinki, Finland)). En lett rødlig hudfarge indikerte riktig preparering av huden og god impedans (Konrad, 2005)). Studier har vist at EMG har en akseptabel reliabilitet og validitet (Kellis & Katis, 2008; Marshall & Murphy, 2003; Rota, Rogowski, Champely, & Hautier, 2013). EMG ble bare registrert på testdag 2. Muskelaktiviteten i m. triceps brachii ble registrert ved ni tidspunkter (1 min varighet) under 90 min staketesten (figur 9), men seks målinger ble videre brukt i analysene (3-4, 18-19, 38-39, 58-59- 78-79 og 88-89 min) Under de to første belastningene i laktatprofiltesten registrerte EMG muskelaktiviteten i m. triceps brachii fra 3.30- 4.30 min.

Muskelaktiviteten ble målt med TeleMyo Direct Transmisson System (DTS) (Noraxon Inc., Scottsdale, AZ, USA). TeleMyo™ DTS Belt Receiver registrerte signalene direkte fra de trådløse EMG-sensorene (TeleMyo DTS EMG sensor, Noraxon, Inc., Scottsdale, AZ, USA) plassert på kroppen. Signalene ble innhentet med en frekvens på 1500 Hz. I tillegg ble det lagt inn en anbefalt sensor forsinkelse på 312 ms (TeleMyo DTS user manual, Noraxon Inc., Scottsdale, USA). Signalene ble videre sendt trådløst til TeleMyo 2400 G2 mini receiver (Noraxon, Inc., Scottsdale, AZ, USA) hvor de ble innhentet digitalt og lagret på en bærbar pc med software (MyoResearch XP, Master Edition 1.07.63, Scottsdale, AZ, USA). EMG-signalene ble analysert med MyoResearch XP software (Master Edition 1.07.63, Scottsdale, AZ, USA). Råsignalene ble filtrert med høy- og lav-frekvens Butterworthfilter (10 Hz og 500 Hz), som fjernet både lav- og høyfrekvent støy. Deretter ble alle amplitudene i et signal rektifisert. Dermed ble alle negative verdier konvertert til positive verdier. Videre ble rektifiserte rå-EMG-signalet digitalt «glattet» ved hjelp av en root means square (RMS) algoritme over et tidsvindu på 100 ms (smoothing). RMS-verdien i mikrovolt (uV) reflekterer således muskelaktiviteten (Konrad, 2005; Noraxon INC, 2011). Etter anbefaling fra Konrad (2005) ble EMG-RMS verdiene normalisert. EMG-RMS-verdiene under de 3-4 min av den 90 min submaksimale staketesten ble satt til 100 % og øvrige målinger ble oppgitt i forhold til dette. Resultatene ble presentert som gjennomsnittet i EMG_{peak} , EMG_{slope} og EMG_{area} . EMG_{peak} representerer den høyeste registrerte muskelaktiviteten (uV) i en dynamisk muskelkontraksjon. EMG_{slope} defineres som stigningstallet (uV/sek) og kan forventes brattere ved økt styrke hvor en hurtigere kraftutvikling kan oppnås. EMG_{area}

er området under kurven ($\mu\text{V}\cdot\text{sek}$) og representerer det totale EMG-signalet over et bestemt tidsvindu (Konrad, 2005) (figur 10).



Figur 10 Glattet EMG-signal som illustrer signal (amplitude) parametrene EMG_{peak} (μV), EMG_{slope} ($\mu\text{V}/\text{sek}$) og EMG_{area} ($\mu\text{V}\cdot\text{sek}$).

4.5.1 Målemetoden EMG

EMG er en målemetode som registrerer og analyserer myoelektriske signaler i kartlegging av den neuromuskulære aktiviteten i arbeidendemuskler (Konrad, 2005). Den minste funksjonelle enheten i muskulaturen er en motorisk enhet (Konrad, 2005). Motorisk enhet består av α - motorneuron og alle muskelfibrene som er innervert av dette motorneuronets aksoner. De elektriske signalene som kommer fra aktivering av muskelfibrene i en motorisk enhet kalles motorisk enhet aksjonspotensiale (MUAP). Dette kan EMG-elektrodene registrere og utgjør dermed det fundamentale i EMG-signalet. For å vedlikeholde muskelkontraksjon må de motoriske enhetene aktiveres repetitivt (De Luca, 2006). Dette resulterer i en sekvens av MUAP'er, som kalles tog av motorisk enhet aksjonspotensialer (MUAPT). Et EMG-signal består av akkumulering av mange MUAP. Dette akkumulerte signalet er veldig likt det virkelige EMG-signalet og kalles rå-EMG, og er det signalet som anvendes videre i analyseprogrammer (De Luca, 1997, 2006; Konrad, 2005).

Det er mange faktorer som kan påvirke formen av MUAP, og dermed EMG-signalet. De Luca (1997) deler det inn i tre hovedkategorier: (1) «causative» deles videre inn i eksterne; som har med elektrodeplassering, nærliggende muskulaturs påvirkning (cross talk) og antall motoriske enheter som elektrodene registrerer pga. av orienteringen av elektroden på muskelen. Interne faktorene har med fysiologiske, anatomiske og

biomekaniske karakteristikken. I motsetning til de eksterne er dette faktorer som det ikke kan kontrolleres for. Dette omhandler bl.a. vev/struktur tykkelse mellom elektrode og muskel, antall aktive motoriske enheter, muskelfibertype og muskelfiber diameter. (2) «Intermediate» faktorer representerer fysiske og fysiologiske fenomen som er påvirket av en eller flere causative faktorer, som til slutt vil påvirke (3) «deterministic» faktorene og dermed EMG signalet sitt signal (amplitude) og frekvens. «Deterministic» faktorene avgjør signal kvaliteten på EMG. Dette avgjøres av antall aktive motoriske enheter, antall oppdagede motoriske enheter, interaksjonen mellom muskelfiber, rekruteringsstabiliteten av motoriske enheter, fyringsfrekvensen av motoriske enheter og signal (amplitude), varighet og form av MUAP'er (De Luca, 2006; De Luca, Gilmore, Kuznetsov, & Roy, 2010; Konrad, 2005).

Det er dermed ulike faktorer som kan påvirke EMG-opptaket under staketesten. Det er derfor viktig å være klar over disse støyfaktorene og eliminere så mange av de som mulig for å få et så valid EMG-signal som mulig.

4.6 Dual-energy x-ray absorptiometry, DXA

Kroppssammensetning ble målt pre- og posttest før testdag 1. FP (N=13) ble skannet med en DXA type Lunar Prodigy densiometer (Prodigy Advance PA+302047, Lunar, San Francisco, CA, USA). Prosedyrene er utarbeidet detaljert av erfarne klinikere på revmatismesykehuset på Lillehammer. Da det var begrenset tilgang på DXA-måling på sykehuset var det vanskelig å få gjennomført DXA-skanning på alle FP i studieperioden.

DXA-maskinen sender lav-energi røntgenstråler. Ene strålen absorberes hovedsakelig av bløtvev, mens en annen stråle absorberes hovedsakelig av bein. Dermed kan beinmassen subtraheres fra den totale verdien, og man sitter igjen med verdier for bløtvevsmassen som omtales lean body mass (LM). Siden væskebalansen kan påvirke utfallet i DXA-skanningen ble FP instruert til å faste tre timer før måling samt avstå fra trening 24 timer før skanning. DXA er funnet å være et valid mål på kroppssammensetning (Prior et al., 1997).

Statistikk

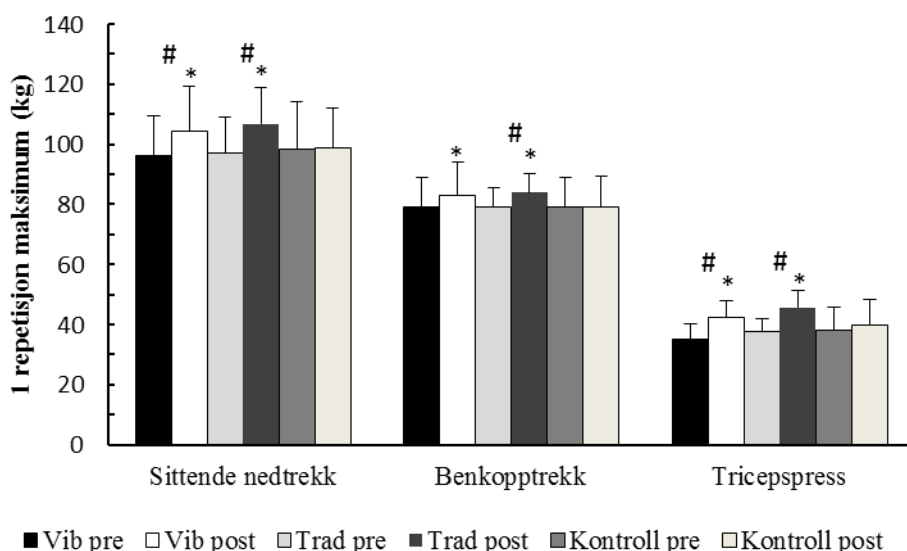
Alle data er fremstilt som gjennomsnitt \pm standardavvik (SD), dersom noe annet ikke er spesifisert. α -nivå ble satt til $\leq 0,05$, og p-verdier mellom 0,06-0,10 ble ansett som tendenser. Forskjell i baselineverdiene mellom gruppene ble undersøkt med enveis variansanalyse (ANOVA). Absolutt endring fra pre- til posttest med flere repeterte målinger innad i gruppen ble undersøkt med en toveis variansanalyse (ANOVA) (intervensjonstid og måletidspunktene under staketesten som faktorer) med post hoc test Bonferroni. Forskjell i relativ endring fra pre- til posttest mellom gruppene ble undersøkt med toveis variansanalyse (ANOVA) (gruppe og måletidspunktene under staketesten som faktorer), med post hoc test Bonferroni. Endring fra pre- til posttest for VO_{2maks} variablene innad i en gruppe ble undersøkt med tosidig parret Student's t- test. Forskjell mellom gruppene i VO_{2maks} ble undersøkt med tosidig uparret Student's t- test. Effektstørrelsen (ES: Cohen's *d*) ble beregnet på relative endring i gruppene om ikke annet er presisert. ES ble klassifisert som ubetydelig 0,0- 0,2, liten 0,2- 0,6, moderat 0,6- 1,2 og stor: $\geq 1,2$ (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Korrelasjonen mellom to variabler ble undersøkt med Pearson korrelasjonskoeffisient (Pearson's *r*). Korrelasjonskoeffisienten ble klassifisert som lav ($0,1 < 0,3$) moderat ($0,3 - 0,5$) høy ($0,5 - 0,7$) veldig høy ($0,7 - 0,9$) (Hopkins et al., 2009). Datamaterialet ble behandlet i Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft, Redmond, USA) og GraphPad Prism 6 (GraphPad Software Inc., California, USA).

5. Resultatkapittel

5.1 1 RM

1 RM økte signifikant ($p < 0,05$) fra pre- til posttest for både vibrasjon- og tradisjonellstyrketreningsgruppen i maksstyrkeøvelsene sittende nedtrekk (hhv. $8,2 \pm 5,8\%$ og $9,9 \pm 4,1\%$), benkopptrekk (hhv. $4,9 \pm 4,0\%$ og $6,5 \pm 5,9\%$) og tricepspress (hhv. $20,2 \pm 9,5\%$ og $21,6 \pm 12,0\%$). Kontrollgruppen hadde ingen signifikant ($p > 0,05$) endring i noen av 1 RM testene i løpet av intervensjonsperioden (sittende nedtrekk $0,8 \pm 4,5\%$, benktrekk $0,0 \pm 2,6\%$, tricepspress $4,8 \pm 6,4\%$) (figur 11). Enveis variansanalyse (ANOVA) viste imidlertid ingen signifikant forskjell mellom vibrasjons- og tradisjonell styrketrening på endringer i 1 RM (sittende nedtrekk $p = 0,72$; benkopptrekk og $p = 0,72$; tricepspress $p = 0,95$). Vibrasjon- og tradisjonellstyrketreningsgruppen viste signifikant forskjell i 1 RM fra kontrollgruppen i øvelsene sittende nedtrekk (hhv. $p = 0,02$ og $p = 0,002$), tricepspress (hhv. $p = 0,01$ og $p = 0,006$) og benkopptrekk (KON $p = 0,02$). Vibrasjonsgruppen viste imidlertid ikke signifikant forskjell i benkopptrekk i forhold til kontrollgruppen ($p = 0,11$).

På bakgrunn av at vibrasjon og tradisjonell styrketreningsgruppe ikke viste signifikant forskjell i 1 RM- testene, ble det valgt å slå disse gruppene sammen til en styrkegruppe (STR) i de videre statistiske analyser.



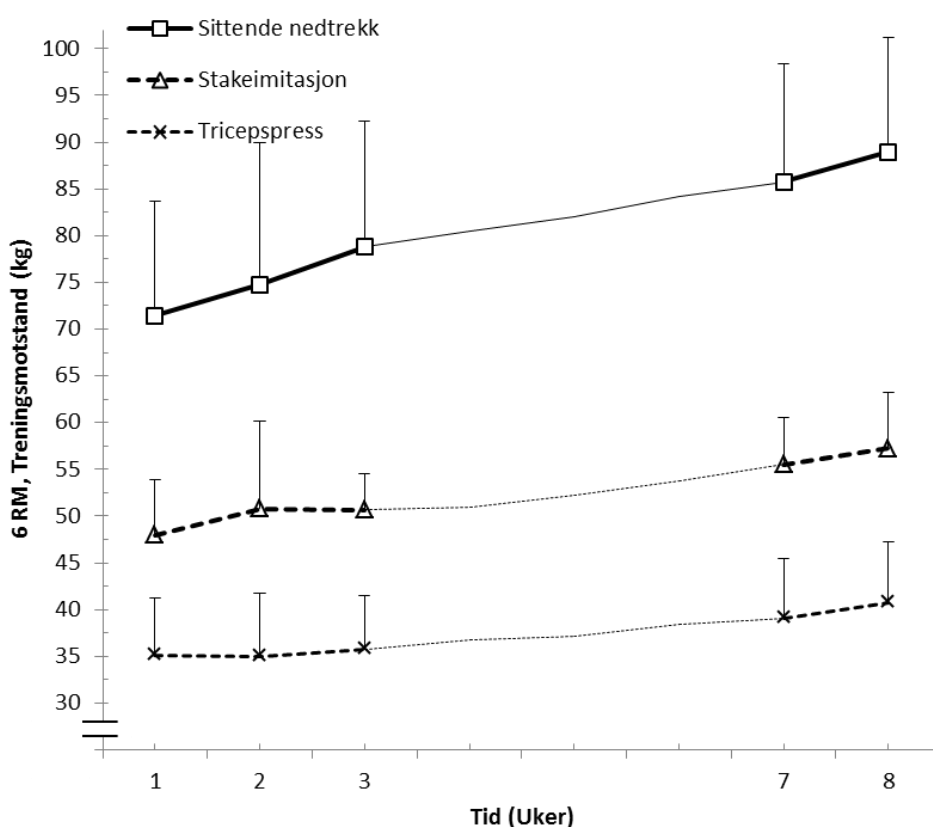
Figur 111 1 RM i sittende nedtrekk, benkopptrekk og tricepspress før (pre) og etter (post) åtte ukers intervensjonsperiode, hvor vibrasjon- og tradisjonellgruppen trente tung styrketrening. Kontrollgruppen fortsatte sitt

vanlige treningsregime uten tung styrketrening. *Forskjell fra pre ($P < 0,05$). # Forskjell fra kontrollgruppen i relativ endring fra pre til posttest ($P < 0,05$).

To veis ANOVA viste en signifikant styrkeøkning fra pre- til posttest i øvelsene sittende nedtrekk ($8,9 \pm 4,4\%$), benkopptrekk ($5,2 \pm 6,0\%$) og tricepspress ($21,7 \pm 10,8\%$) i STR ($p < 0,0001$). Ingen signifikant forskjell ble sett i KON (se avsnitt over). Styrke økningen i STR var signifikant større i øvelsene sittende nedtrekk og tricepspress i relativ endring fra pre- til posttest sett i forhold til KON (hhv. $p = 0,023$ og $p < 0,0001$). Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene i 1 RM benkopptrekk ($p = 0,18$).

5.2 Treningsmotstand under intervensjonen

Treningsmotstanden på 6 RM økte fra uke 1 til uke 8 i øvelsene sittende nedtrekk, stakeimitasjon og tricepspress med henholdsvis $24 \pm 0,1\%$, $19 \pm 1\%$ og $16 \pm 5\%$ (figur 12). I gjennomsnitt fullførte forsøkspersonene $89 \pm 11\%$ av styrketreningsøktene.



Figur 12 Progresjonen i treningsmotstand (kg) gjennom intervensjonen på 6 repetisjoner maksimum (RM) i øvelsene sittende nedtrekk, stakeimitasjon og tricepspress. Det ble ikke trent 6 RM i uke 4-6. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik.

5.3 Treningsstatus

Det var ingen forskjell mellom STR og KON i gjennomsnittlig treningstimer i lav, moderat eller høy intensitet i løpet av de fire siste dagene før første prestest ($p=0,99$), timer per uke etter sesongslutt ($p=0,41$) eller totalt antall timer i løpet av siste året ($p=0,77$). Det var heller ikke forskjell mellom gruppene i antall timer brukt på tung styrketrening eller core/stabilitetstrening. Gruppene var ikke forskjellige i forhold til antall år satset aktivt på ski ($p= 0,38$) (tabell 4).

Tabell 4 Treningstimer siste fire dager før testdag 1, timer per uke fra sesongslutt til testdag 1 og totalt treningstimer sist år fordelt på de ulike intensitetssonene, tung styrketrening og stabilitetstrening.

	Lav- intensitet		Moderat-intensitet		Høy-intensitet		Tot. timer i de ulike intensitetene		Tung styrke		Core/stabilitet trening	
	STR	KON	STR	KON	STR	KON	STR	KON	STR	KON	STR	KON
Timer siste 4 dager	4,5 ± 2,0	4,5 ± 3,6	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,4	0,4 ± 0,6	0,2 ± 0,4	5,1 ± 2,1	4,8 ± 4,0	3,2 ± 12,5	0,4 ± 0,7	1,7 ± 6,2	0,6 ± 0,5
Timer per uke etter sesongslutt	13,3 ± 9,4	13,4 ± 10,9	1,0 ± 2,0	0,3 ± 0,0	1,2 ± 1,5	1,2 ± 1,1	15,6 ± 11,5	14,7 ± 10,6	0,6 ± 0,6	0,1 ± 0,2	0,7 ± 0,7	1,2 ± 1,4
Totalt timer sist år	519,0 ± 182,6	452,3 ± 197,6	37,0 ± 19,9	32,3 ± 15,1	38,9 ± 27,4	35,6 ± 19,3	639,8 ± 136	530,5 ± 202,2	29,7 ± 17,3	24,4 ± 20,8	35,3 ± 11,1	23,1 ± 13,3
Satset aktivt ski, antall år	9,1 ± 4,4	6,7 ± 1,5										

Data er gjennomsnitt ± standardavvik.

5.4 Treningsvolum under intervensjonsperioden

Det var ingen forskjell mellom STR og KON i antall treningstimer i bevegelsesformene løping, sykling, staking (rulleski og ski), klassisk (rulleski og ski) og skøyting (rulleski og ski) eller totalt timer i bevegelsesformene ($p > 0,05$). Effektforskjellen var ubetydelig til liten mellom gruppene (ES range -0,35-0,55) (tabell 5).

Det var ingen signifikant forskjell i sone1, 2 eller 3 eller totalt treningstimer i sonene mellom STR og KON ($p > 0,05$) Effektforskjellen var ubetydelig til liten mellom gruppene (ES range -0,35-0,55) (tabell 6).

Tabell 5 Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på bevegelsesform og prosentvis fordeling av totalt treningsvolum for STR og KON. ES beregnet på % endring.

	STR		KON		ES
	Timer	Fordeling (%)	Timer	Fordeling (%)	
Løp	4,49 ± 1,31	34,2 ± 14,5	4,11 ± 1,14	34,9 ± 16,7	0,31
Sykkel	1,92 ± 1,55	14,6 ± 17,2	1,26 ± 0,73	10,7 ± 10,7	0,55
Staking	1,59 ± 1,52	12,1 ± 17,7	2,14 ± 1,53	18,1 ± 22,5	-0,35
Klassisk	2,37 ± 1,88	18,0 ± 22,7	1,57 ± 1,25	13,4 ± 24,3	0,43
Skøyting	2,77 ± 1,99	21,1 ± 28	2,75 ± 1,87	22,9 ± 25,8	0,03
Totalt timer	7,62 ± 6,20	100	5,90 ± 4,63	100	0,31

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). Stilartene staking, klassisk og skøyte er rulleski og ski (totalt timer).

Tabell 6 Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på intensitetszone 1, 2 og 3 og prosentvis fordeling av intensitetssonene. ES beregnet på % endring.

	STR		KON		ES
	Timer	Fordeling (%)	Timer	Fordeling (%)	
Sone 1	10,97 ± 3,33	86,0 ± 84,5	8,68 ± 2,07	80,5 ± 103,2	0,82
Sone 2	0,96 ± 0,63	7,6 ± 16,0	1,37 ± 0,72	12,7 ± 36,1	- 0,60
Sone 3	0,81 ± 0,65	6,4 ± 16,5	0,73 ± 0,45	6,8 ± 22,7	0,03
Totalt timer i sonene	12,65 ± 3,94	100	10,78 ± 2,01	100	0,59

Data et gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*).

5.5 DXA og kroppsvekt

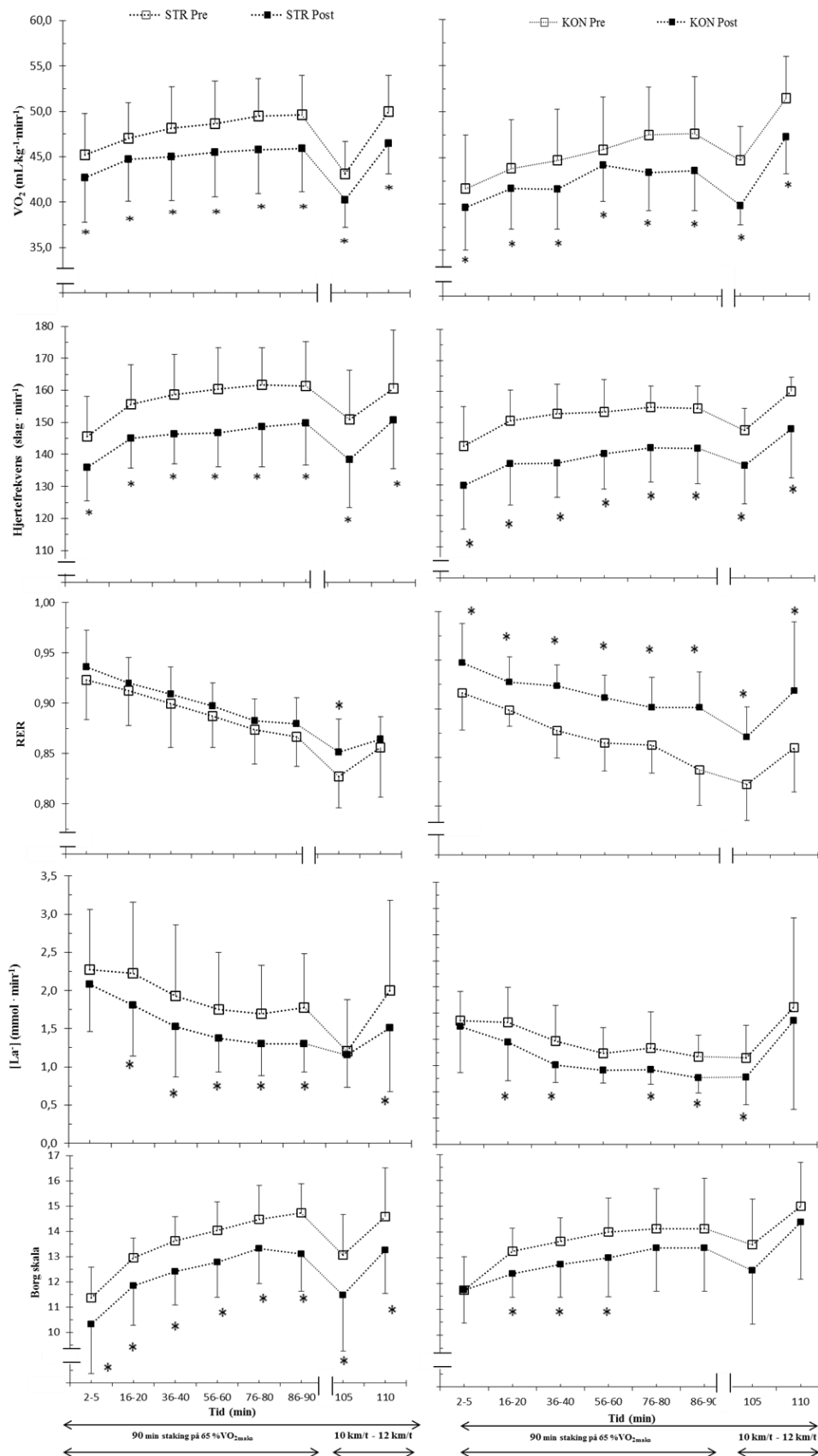
STR fikk en gjennomsnittlig økning i overkroppens og kroppens totale muskelmasse (LM) fra pre- til posttest med henholdsvis $2,8 \pm 2,9\%$ ($p= 0,006$) og $1,5 \pm 1,6\%$ ($p= 0,0076$; $n=12$). Parret student's t- test viste en signifikant reduksjon i gjennomsnittlig fettprosent som prosentpoeng fra pre- til posttest på $-1,4 \pm 1,0$ ($p= 0,0005$) i STR. Det ble ikke gjort statistiske analyser på KON, da N var liten ($n=1$) i DXA målingene.

Kroppsvekten (kg) endret seg ikke under intervensjonsperioden for STR ($p= 0,98$) eller KON ($p= 0,72$). Uparret student's t- test viste ingen statistisk forskjell mellom gruppene i relativ endring i kroppsvekt fra pre- til posttest ($p= 0,62$).

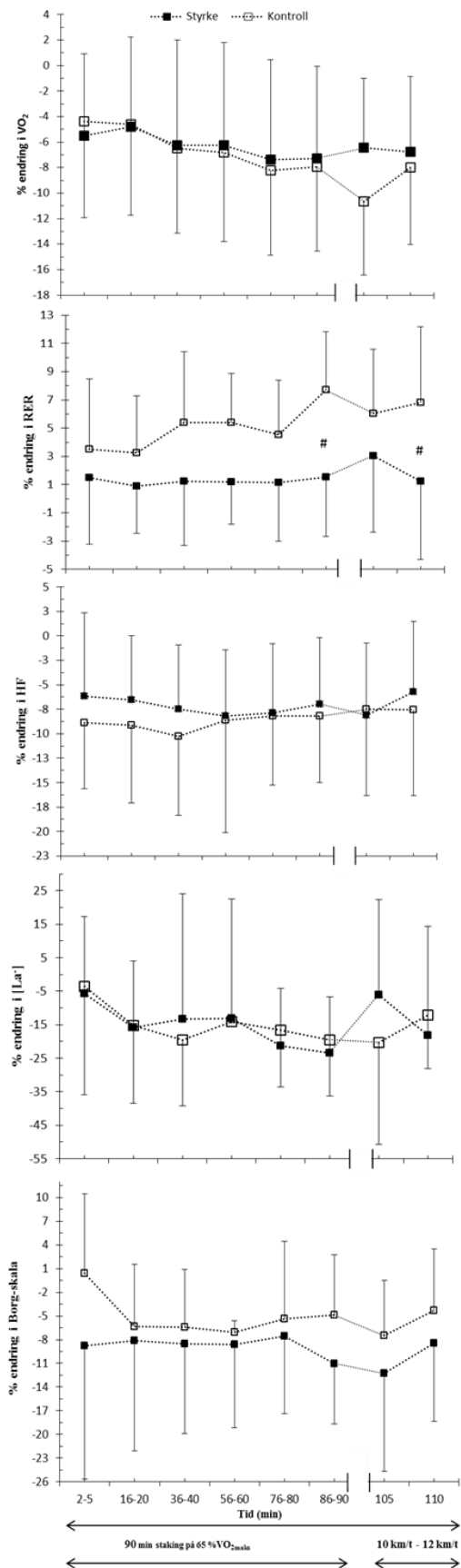
5.6 Respons under 110 min submaksimal staketest

ANOVA analyser viste en signifikant reduksjon fra pre- til posttest i absolutte oksygenforbruk, HF, $[La^-]$ og Borgskår i staketesten ($p < 0,05$) fra 20 min og utover for STR. RER-verdien forble uforandret fra pre- til posttest, bortsett fra tidspunktet 105 min (figur 13, panelene til venstre). KON hadde signifikant reduksjon under alle måletidspunktene i oksygenforbruk og HF. Imidlertid økte RER-verdien signifikant fra pre- til posttest i KON ($p < 0,05$). $[La^-]$ var lavere, bortsett fra en måling ved start, i midtfasen og helt til slutt i testen. Borgskår var lavere i starten testen, men under de fire siste målingene i 110 min var den uforandret ($p > 0,05$) (figur 13, panelene til høyre).

En sammenligning mellom STR og KON i forhold til relative endringer under 110 min submaksimale staketesten, viste ingen signifikante forskjeller mellom gruppene i nesten alle variablene. Det ble sett forskjell mellom gruppene i RER-verdi ved måletidspunktet 90 min ($p = 0,0032$, STR $1,6 \pm 4,2\%$, KON $7,7 \pm 4,1\%$) og 110 min ($p = 0,0339$, STR $1,2 \pm 5,5\%$, KON $6,8 \pm 5,3\%$, figur 14).



Figur 13 Respons under 110 min submaksimal staking på 65% av baseline VO_{2maks}, før (pre) og etter (post) åtte uker med styrketrening. STR variabler illustreres i panelene til venstre og KON i panelene til høyre. *Forskjell fra pre (p < 0,05).



Figur 14 Relative forandringer (post- mot pre-intervensjon) under 110 min staketesten på 65% av baseline VO_{2maks}. # forskjell fra KON (P < 0,05).

5.7 10- og 12 km/t, testdag 1 og 2

Begge gruppene viste redusert absolutt oksygenforbruk og HF fra pre- til posttest ved 10- og 12 km/t ($p < 0,05$) både testdag 1 (tabell 7, figur 13) og 2 (tabell 8, figur 13). STR hadde signifikant lavere Borgskår posttest på begge hastighetene testdag 1 og 2 (hhv. $p < 0,05$). Videre varierte de fysiologiske variablene om forskjellen fra pre- til posttest var signifikant både ved testdag 1 og 2 i STR og KON (tabell 7 og 8, figur 13).

En sammenligning mellom STR og KON sett på relative verdier viste ingen signifikant forskjell mellom gruppene bortsett fra på RER-verdien under 12 km/t testdag 2 ($p = 0,0339$) (tabell 8).

Tabell 7 Fysiologiske målevariabler under de to belastningene 10- og 12 km/t i laktatprofiltesten, testdag 1. ES beregnet på % endring.

	STR		KON		% endring pre-post		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
10km/t							
VO ₂	40,0 ± 2,5	38,2 ± 1,7*	41,4 ± 2,5	38,3 ± 1,9*	-4,2 ± 4,2	-7,3 ± 4,8	0,69
RER	0,92 ± 0,04	0,93 ± 0,03*	0,91 ± 0,05	0,93 ± 0,05*	1,3 ± 4,7	2,6 ± 4,9	-0,27
HF	146 ± 18	135 ± 16*	141 ± 16	129 ± 12*	-6,5 ± 7,1	-8,4 ± 5,1	0,31
[La ⁻]	2,3 ± 0,9	1,9 ± 1,0*	2,8 ± 1,1	2,5 ± 1,0	-16,8 ± 23,4	-14,7 ± 28,3	-0,08
Borg	11,5 ± 1,5	10,5 ± 1,9*	11,6 ± 1,1	11,9 ± 1,5	-8,1 ± 15,7	2,5 ± 12,3	-0,75
12km/t							
VO ₂	46,6 ± 1,9	44,7 ± 2,6*	47,2 ± 2,7	44,9 ± 3,0*	-4,0 ± 3,8	-5,0 ± 4,9	0,23
RER	0,93 ± 0,03	0,95 ± 0,04*	0,93 ± 0,04	0,95 ± 0,06	1,8 ± 4,3	1,8 ± 2,7	-
HF	157 ± 17	150 ± 16*	154 ± 14	143 ± 15*	-4,3 ± 6,3	-7,3 ± 4,5	0,55
[La ⁻]	2,9 ± 1,4	2,6 ± 1,5*	4,1 ± 1,7	3,2 ± 1,7*	-9,9 ± 18,1	-18,8 ± 25,1	0,41
Borg	13,2 ± 1,6	12,2 ± 2*	13,9 ± 1,1	13,4 ± 1,2	-7,9 ± 10,7	-3,4 ± 6,8	-0,50

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). * Forskjell fra pre ($P < 0,05$). VO₂ (oksygenforbruk), RER (RER-verdi), HF (hjerterefrekvens), [La⁻] (laktat), Borg (Borgskår)

Tabell 8 Fysiologiske målevariabler under de to belastningene (10- og 12 km/t) i laktatprofiltesten, testdag 2. ES beregnet på % endring.

10km/t	STR		KON		% endring pre-post		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
VO ₂	43,1 ± 3,6	40,2 ± 3,0*	44,7 ± 3,7	39,8 ± 2,1*	-6,5 ± 5,5	-10,6 ± 5,8	0,72
RER	0,83 ± 0,03	0,85 ± 0,03*	0,82 ± 0,04	0,87 ± 0,03*	3,1 ± 5,4	6,0 ± 4,5	-0,58
HF	151 ± 15	138 ± 15*	148 ± 7	136 ± 12*	-8,1 ± 7,4	-7,5 ± 8,8	-0,07
[La ⁻]	1,2 ± 0,7	1,2 ± 0,4	1,7 ± 0,6	1,3 ± 0,5*	-6,0 ± 28,4	-20,2 ± 30,3	-0,89
Borg	13,1 ± 1,6	11,5 ± 2,2*	13,5 ± 1,8	12,5 ± 2,1	-12,3 ± 12,4	-7,5 ± 6,9	-0,47
12km/t							
VO ₂	49,9 ± 4,0	46,4 ± 3,3*	51,5 ± 4,5	47,2 ± 4,0*	-6,8 ± 5,9	-8,0 ± 6,1	0,19
RER	0,86 ± 0,05	0,86 ± 0,02	0,86 ± 0,05	0,92 ± 0,07*	1,2 ± 5,5	6,8 ± 5,3 #	-1,03
HF	161 ± 18	151 ± 15*	160 ± 5	148 ± 16*	-5,7 ± 7,2	-7,6 ± 8,7	0,23
[La ⁻]	2,0 ± 1,2	1,5 ± 0,8*	2,6 ± 1,7	2,4 ± 1,7	-18,2 ± 32,5	-12,1 ± 16	-1,18
Borg	14,6 ± 2	13,3 ± 1,7*	15 ± 1,7	14,4 ± 2,2	-8,4 ± 9,9	-4,3 ± 7,8	-0,46

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). * Forskjell fra pre (p<0,05). #

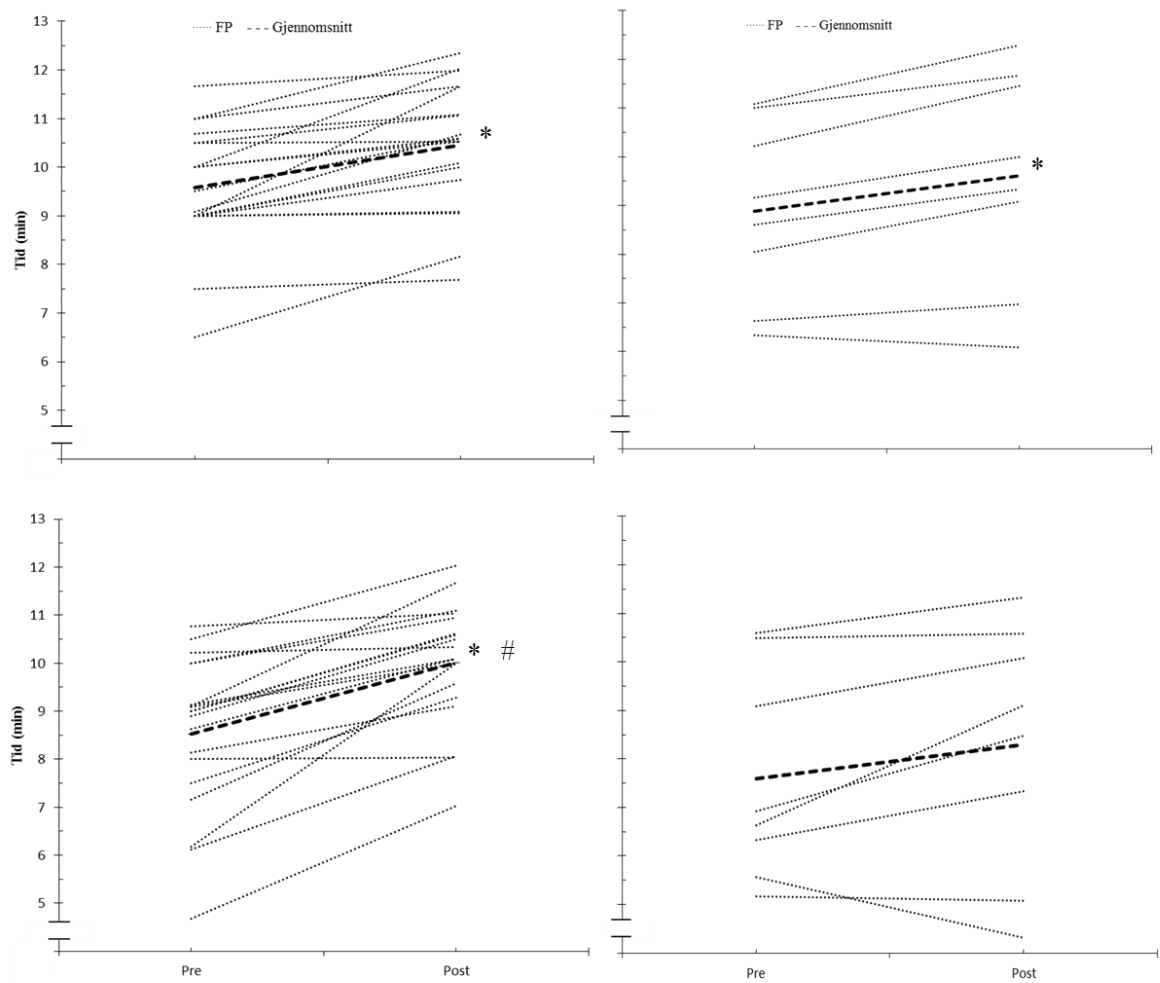
Forskjell fra KON (p<0,05). VO₂ (oxygenforbruk), RER (RER-verdi), HF (hjerterefrekvens), [La⁻] (laktat), Borg (Borgskår)

5.8 VO_{2maks} og tid til utmattelse (prestasjon)

Det var ingen signifikant forskjell i VO_{2maks} fra pre- til posttest på testdag 1 eller testdag 2 i noen av gruppene (hhv. STR p= 0,9, 0,87, KON p= 0,68, 0,25). Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene i VO_{2maks} sett på relativ endring fra før til etter intervensjonen både testdag 1 (p= 0,78) og testdag 2 (p= 0,26).

Begge gruppene hadde en signifikant økning i TTU fra pre til post ved testdag 1. STR økte gjennomsnittlig TTU med 9,6 ± 8,5% og KON økte med 7,6 ± 5,4% (p< 0,001 og p< 0,004) (figur 15). Det var ingen signifikant forskjell mellom gruppene i TTU testdag 1 (p= 0,55), og økningen tilsvarte en liten praktisk effekt for STR (ES 0,28).

Etter submaksimal staketest (110min) økte STR signifikant TTU (testdag 2) med 19,6 ± 16,0% (p< 0,001) fra pre- til posttest. KON hadde en økning på 8,8 ± 17,7%, men ikke signifikant (p= 0,13) (figur 15). Gjennomsnittlig effektstørrelse sett på absolutt forbedring i TTU, tilsvarte en moderat effekt (ES: 0,80) av styrketreningen i STR i forhold til KON. Den relative endringen i TTU var imidlertid ikke signifikant forskjellig mellom gruppene (p= 0,13). Sett på absolutte tall var det en tendens til statistisk forskjell (p= 0,07). De fysiologiske variablene RER og HF var signifikant forskjellig (hhv. p= 0,02 og 0,007 (tabell 9) mellom STR og KON på testdag 2.



Figur 15 Tid til utmattelse (min) på stakemøllen før (pre) og etter (post) åtte uker intervensjon på testdag 1 (øverste panel) og testdag 2 (nederste panel). Panel til venstre viser STR (N= 19) og til høyre viser KON (N= 8). Lys stiplede linjer representerer de ulike individuelle FP sine pre og post verdier. Svart grov stiplede linje illustrerer gjennomsnittet av gruppen. *Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,05$). # tendens til forskjell fra KON ($p = 0,07$).

Tabell 9 Forskjell fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) i de fysiologiske målevariabler under VO_{2maks} testdag 1 og 2. ES beregnet på % endring.

Testdag 1	STR		KON		% endring pre-post		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
VO ₂	68,5 ± 5,3	68,3 ± 5,4	66,3 ± 7,9	66,6 ± 8,2	0,0 ± 5,6	0,6 ± 3,0	-0,12
RER	1,07 ± 0,05	1,10 ± 0,04*	1,07 ± 0,05	1,10 ± 0,03	2,7 ± 4,9	3,1 ± 4,3	-0,08
HF	193 ± 9	190 ± 11	183 ± 9	179 ± 12*	-1,7 ± 3,6	-2,5 ± 2,5	0,25
[La ⁻]	10,5 ± 2	9,5 ± 2,6	11 ± 2,2	10,0 ± 1,6	-8,0 ± 24,5	-8,9 ± 14,9	0,04
Borg	18,7 ± 1,2	18,9 ± 1,3	18,4 ± 0,5	18,6 ± 0,7	1,3 ± 7,0	1,4 ± 4,8	0,01
Testdag 2							
VO ₂	69,2 ± 5,7	69,4 ± 5,8	67,7 ± 7,0	65,7 ± 7,3	0,5 ± 6,8	-2,9 ± 6,7	0,50
RER	0,99 ± 0,04	1,03 ± 0,03*	0,97 ± 0,06	1,06 ± 0,05*	3,7 ± 5,6	9,9 ± 6,5 #	-1,02
HF	189 ± 10	188 ± 10	184 ± 10	180 ± 10*	-0,3 ± 2,9	-1,9 ± 2,4 #	1,06
[La ⁻]	8,2 ± 2,3	8,2 ± 1,9	7,1 ± 2,6	7,8 ± 2,5	4,8 ± 27,8	0,3 ± 14,3	-0,30
Borg	19,2 ± 1,0	18,9 ± 1,1	18,8 ± 1,0	18,3 ± 0,7	-1,0 ± 5,0	-2,4 ± 6,3	0,25

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). VO₂ (oksygenforbruk), RER (RER-verdi), HF (hjerterefrekvens), [La⁻] (laktat), Borg (Borgskår) *forskjell fra pre (p<0,05). # forskjell fra KON (p<0,05).

5.9 Differanse mellom TTU dag 1 og 2 pretest og TTU dag 1 og 2 posttest.

TTU dag 1 pretest, var STR 1,04 min dårligere på dag 2 i forhold til dag 1 (tabell 10). Under posttest var denne forskjellen signifikant mindre (-0,45 min, p= 0,04). KON var pretest 1,29 min dårligere på TTU på dag 2 i forhold til dag 1. Ingen forskjell ble observert mellom gruppene (p= 0,66). Ved posttest var det imidlertid en signifikant forskjell mellom gruppene (p= 0,048) med en moderat effektstørrelse av styrketrening i favør STR (ES= 0,91). KON var stadigvekk 1,32 min dårligere på dag 2 enn dag 1 på postverdi i TTU.

Tabell 10 TTU pre og posttest sett i forhold til dag 1 vs. dag 2. ES beregnet på absolutte tall.

	STR	KON	ES
TTU dag 1 vs. dag 2 Pre	-1,04 ± 1,21	-1,29 ± 1,37	-1,80
TTU dag 1 vs. dag 2 Post	-0,45 ± 0,58 *#	-1,32 ± 1,22	0,91

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). * signifikant forskjell fra dag 1 vs. dag 1 pre (p<0,05). # signifikant forskjell fra KON (p<0,05).

5.10 EMG-måling fra m. triceps brachii under 110 min submaksimalstaketest, testdag 2

Toveis variansanalyse (ANOVA) viste at den relative forskjellen i EMG_{peak} , EMG_{slope} og EMG_{area} ikke endret seg signifikant fra pre- til posttest for noen av gruppene under den 110 min submaksimale staketesten (figur 16). En sammenligning mellom gruppene i delta-endring viste ingen forskjell mellom gruppene under staketesten (tabell 11). ES viste liten til moderat effektstørrelse for STR (tabell 12).

I forandring over tid viste STR en signifikant reduksjon i EMG_{peak} , EMG_{slope} og EMG_{area} i alle tidspunktene i forhold til 3-4 min ved pretest ($p < 0,05$). Posttest var EMG_{slope} og EMG_{area} signifikant redusert ved 105 og 110 min i forhold til 3-4 min ($p < 0,05$). Forandring over tid i KON viste signifikant reduksjon hovedsakelig ved pretest under 105- 110 min ($p < 0,05$) (figur 16).

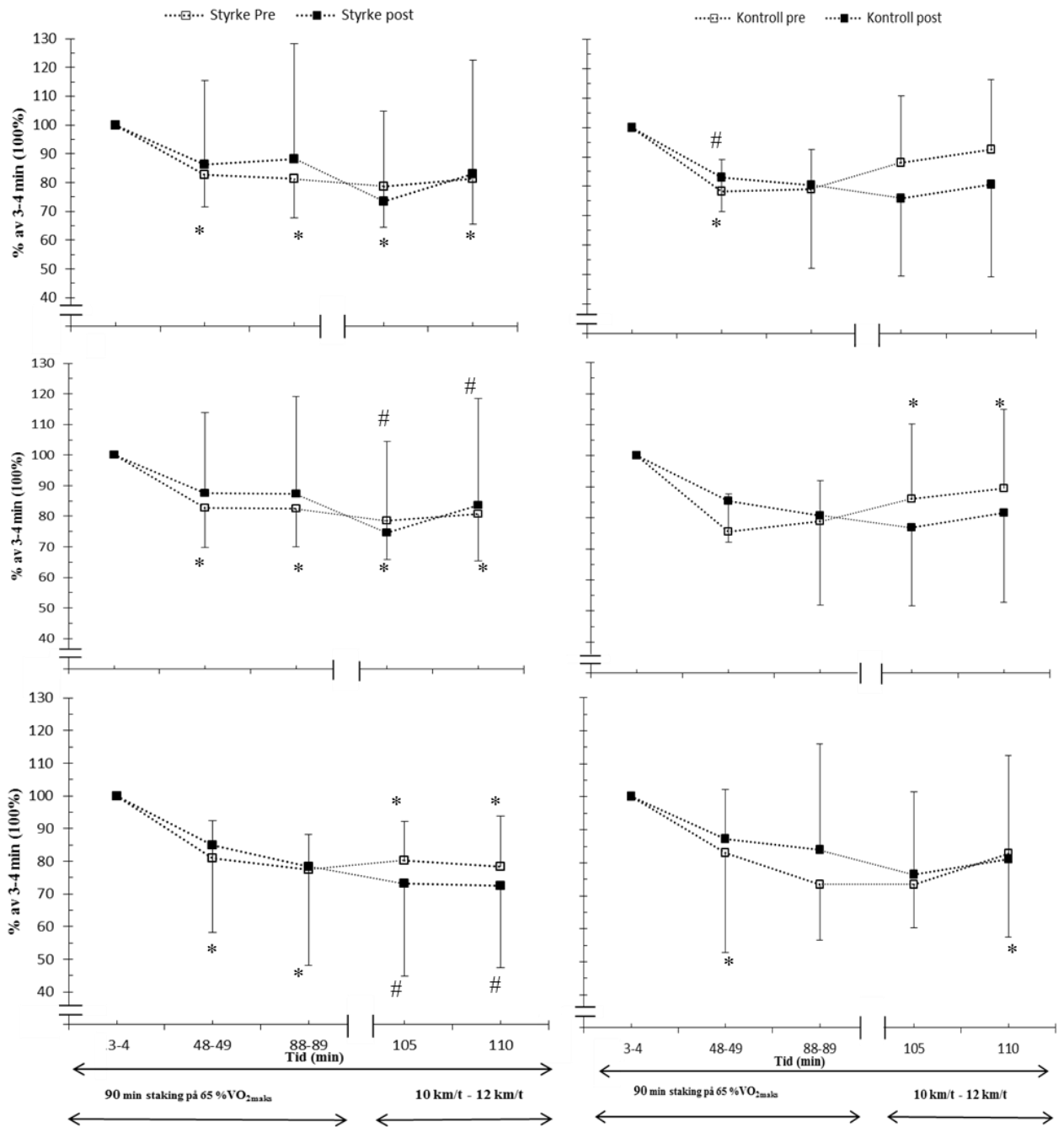
Tabell 11 EMG delta endring målt i m. triceps brachii (pre- mot post-intervensjon) under 110 min submaksimalstaketest (måletidspunkt: 3-4, 48-49 og 88-89, 105 og 110 min), testdag 2.

Tid (min)	Triceps peak		Triceps slope		Triceps area	
	STR	KON	STR	KON	STR	KON
3-4	0	0	0	0	0	0
48-49	4 ± 35	5 ± 35	6 ± 33	10 ± 17	4 ± 30	4 ± 33
88-89	0 ± 39	0 ± 39	5 ± 39	1 ± 26	4 ± 29	11 ± 24
105	-7 ± 40	-21 ± 14	7 ± 41	-17 ± 14	-4 ± 25	-1 ± 20
110	-1 ± 51	-23 ± 14	14 ± 47	-17 ± 16	-14 ± 34	-12 ± 17

Data er gjennomsnitt ± standardavvik.

Tabell 12 Effektstørrelse (Cohen's d) beregnet på delta endring i m. triceps brachii mellom STR og KON.

Tid (min)	Triceps Peak	Triceps Slope	Triceps Area
48-49	-0,028	-0,15	-
88-89	-0,18	0,12	-0,26
105	-0,46	0,53	-0,13
110	0,58	0,67	-0,07



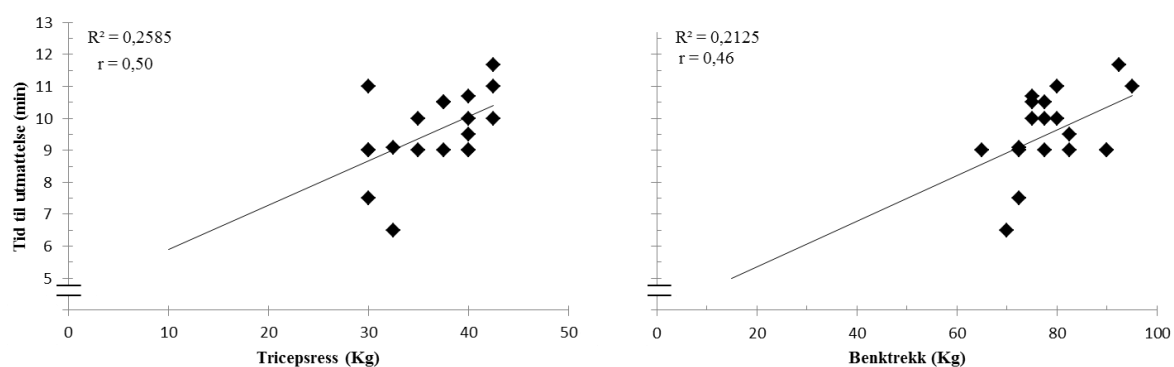
Figur 16 Data presentert som Peak (øverste panel), Slope (midterste panel) og Area (nederste panel). EMG-verdier normalisert ut i fra 3-4min (%3-4 min). Alle målinger ble gjort på m. triceps brachii. Data er gjennomsnitt ± standardavvik. * Forskjellig fra 3-4 min pretest ($p < 0,05$), #Forskjellig fra 3-4 min posttest ($p < 0,05$).

5.11 Korrelasjoner

Pearson's korrelasjons koeffisient viste ingen sammenheng i relativ endring i 1 RM-styrkeøvelsene og TTU testdag 2 ($p > 0,05$) for STR. STR hadde heller ingen sammenheng mellom relativ endring i muskelmasse i overkroppen og TTU testdag 2 ($p > 0,05$).

Pearson's korrelasjons koeffisient viste en signifikant sammenheng mellom absolutte pre-verdiene i 1 RM tricepspress og benkopttrekk (kg) og pre TTU testdag 1 (hhv. $r = 0,50$, $p = 0,0262$ og $r = 0,46$, $p = 0,0468$) for STR (figur 17).

Ingen av de andre styrkeparameterne eller muskelmasse overkropp korrelerte signifikant med TTU testdag 1- og 2 ($p > 0,05$).



Figur 17 Pearson's korrelasjonsanalyse mellom tricepspress, benkopttrekk og TTU under pre testdag 1.

5.12 Maks watt (W_{maks}) under VO_{2maks} test.

Parret Student's t-test viste en signifikant økning i maks watt under det siste minuttet i makstesten fra pre-til post under testdag 1 for STR og KON (hhv. $5,1 \pm 4,4\%$, $p < 0,0001$ og $4,6 \pm 4,9\%$, $p = 0,0232$) (tabell 13). Uparret Student's t-test viste ingen signifikant forskjell mellom gruppene i relativ endring fra pre- til posttest ved testdag 1 ($p > 0,05$).

Tabell 13 Viser forskjell i W_{maks} fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) i siste fullførte minutt under VO_{2maks} testdag 1. ES beregnet på % endring.

	STR		KON		% endring		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
W_{maks}	$331,2 \pm 42,7$	$345,9 \pm 40,7^*$	$302,1 \pm 34$	$322,6 \pm 38,6^*$	$4,7 \pm 4,4$	$4,6 \pm 4,9$	0,02

Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. ES = effektstørrelse. * signifikant forskjell fra pre ($p < 0,05$).

5.13 Laktat watt (W) og utnyttelsesgrad på 2 og 4 mmol/L [La^-] under laktatprofil (10, 12 og 14 km/t) testdag 1.

STR økte signifikant effekten (W) på 2 mmol/L [La^-] fra pre-til post med $16,6 \pm 23,9\%$ ($p = 0,0045$). Det var ingen signifikant endring i KON ($11,9 \pm 17,9\%$, $p = 0,11$) (tabell 14). Gjennomsnittlig effektstørrelse sett på relativ forbedring i effekt (W) på 2 mmol/L [La^-], viste en liten effekt av styrketreningen i STR i forhold til KON (ES = 0,22).

Fra før til etter intervensjonen var det ingen signifikant endring i utnyttelsesgrad ved en effekt (W) tilsvarende 2 mmol/L [La^-] ($p = 0,106$ STR og $p > 0,99$ KON).

Effekten (W) på 4 mmol/L [La^-] viste en signifikant økning fra pre- til posttest i STR og KON (hhv. $p = 0,013$ og $p = 0,005$) (tabell 15). Gjennomsnittlig effektstørrelse sett på relativ forbedring i effekt (W) på 4 mmol/L [La^-], viste en liten effekt av styrketreningen i STR i forhold til KON (ES = -0,30). Det var en tendens til forbedret utnyttelsesgrad fra pre- til post på 4 mmol/L [La^-] i STR ($p = 0,07$). Ingen endring ble sett i KON ($p = 0,13$).

Det var ingen forskjell mellom gruppene i endringer fra pre- til post i noen av de respektive variablene på 2 mmol/L [La^-] og 4 mmol/L [La^-] ($p > 0,05$).

Tabell 14 Viser forskjell i laktat (W) og utnyttelsesgrad på 2 mmol/L [La⁻] fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) mellom gruppene testdag 1 (10,12 og 14 km/t).

	STR		KON		% endring		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
Laktat (W)	172,4 ± 49,0	195,8 ± 46,9*	161,6 ± 30,8	179,9 ± 35,9	16,6 ± 23,9	11,9 ± 17,9	0,22
% av VO _{2maks}	55,8 ± 10,4	60,1 ± 9,3	59,3 ± 5,9	59,3 ± 4,7	10,6 ± 24,4	0,9 ± 12,9	0,49
Estimert O ₂	3018,9 ± 754,6	3240,7 ± 620,8	2991,3 ± 460	3008,4 ± 438	11,1 ± 25,7	1,5 ± 15,4	0,45

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. Laktat (W) = watt på 2 mmol/L [La⁻]. % av VO_{2maks} = utnyttelsesgrad. *signifikant forskjell fra pre p<0,05.

Tabell 15 Viser forskjell i laktat (W) og utnyttelsesgrad på 4 mmol/L [La⁻] fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) mellom gruppene testdag 1 (10,12 og 14 km/t).

	STR		KON		% endring		ES
	Pre	Post	Pre	Post	STR	KON	
Laktat (W)	243,2 ± 45,7	261,1 ± 52,6*	219,1 ± 47,8	242,0 ± 53,5*	7,5 ± 10,7	10,4 ± 7,9	-0,30
% av Vo _{2maks}	76,5 ± 5,9	79,1 ± 9,4#	74,1 ± 7,3	77,1 ± 8,9	3,1 ± 7,2	4,1 ± 7,1	-0,14
Estimert O ₂	4155,3 ± 677,4	4267,4 ± 788,2	3761,5 ± 614,8	3927,1 ± 717,4	2,6 ± 8,2	4,2 ± 7,1	-0,21

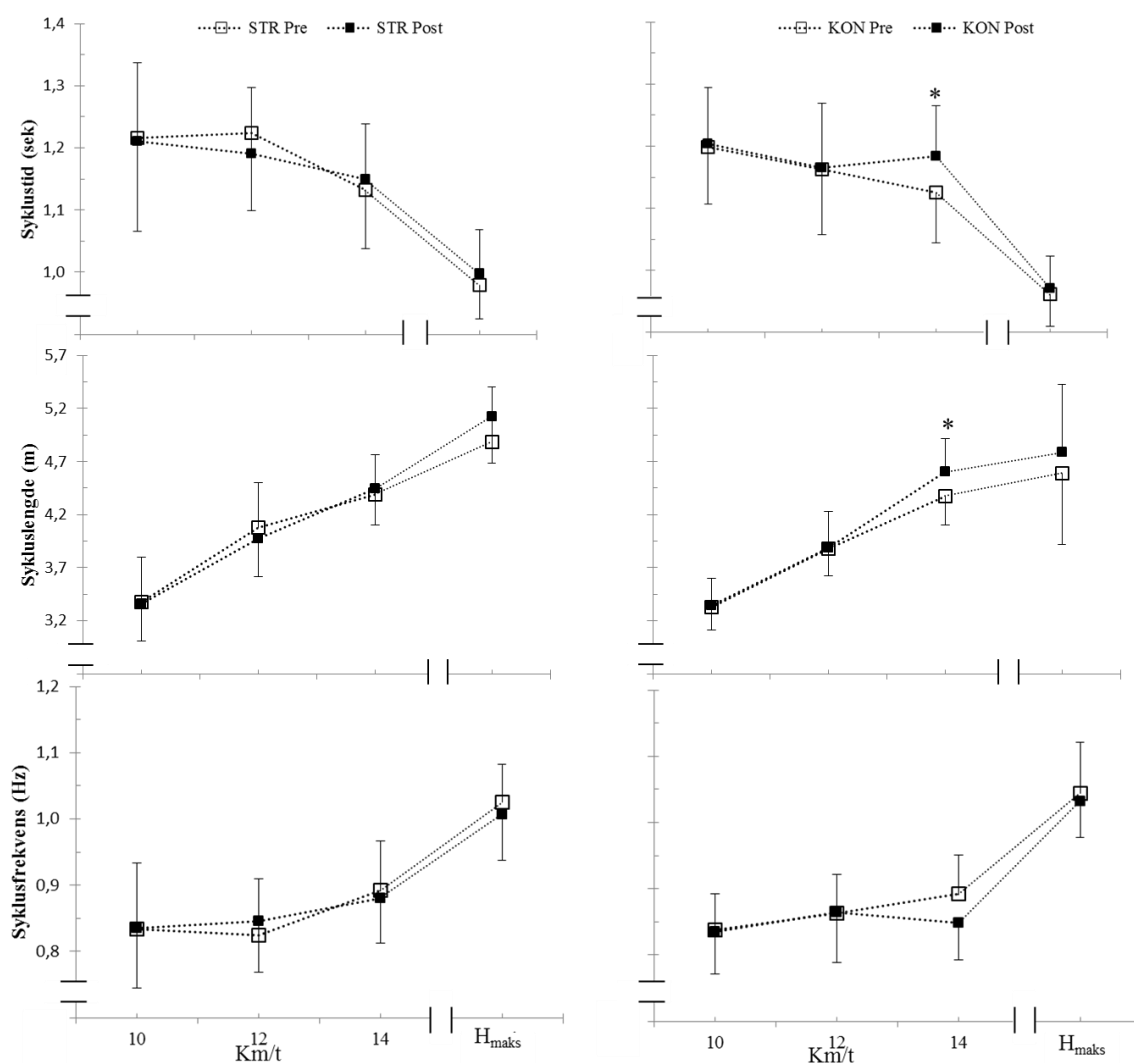
Data er gjennomsnitt ± standardavvik. Laktat (W) = watt på 4 mmol/L [La⁻]. % av VO_{2maks} = utnyttelsesgrad. *signifikant forskjell fra pre p<0,05. # tendens til forskjell fra pre p<0,1.

5.14 Stakekinematikk

5.14.1 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 10, 12, 14 km/t og siste hele fullførte belastning under VO_{2maks} test ved testdag 1.

STR viste ingen signifikant endring i syklustid, lengde eller frekvens på hastighetene 10, 12 og 14 km/t eller under VO_{2maks} test fra pre- til posttest ($p > 0,05$). KON viste signifikant lenger syklus tid og sykluslengde fra pre- til posttest under staking på 14 km/t (hhv. $5,3 \pm 4,9\%$, $p = 0,03$ og $5,3 \pm 4,9\%$, $p = 0,02$) (figur 18).

Det var ingen relativ forskjell mellom gruppene fra pre- til posttest under noen av de fullførte hastighetene ($p > 0,05$).

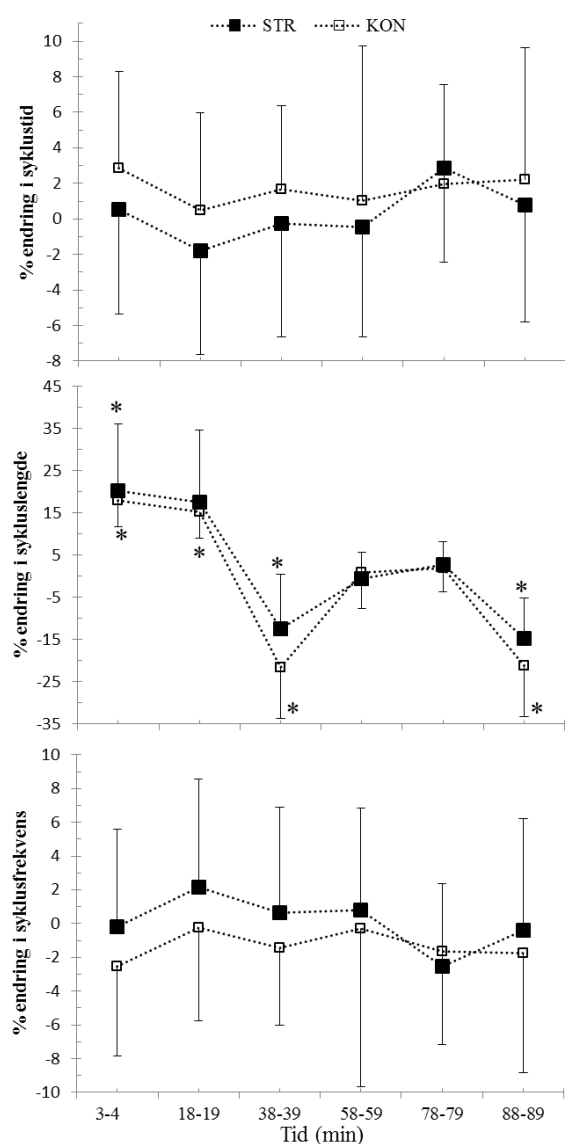


Figur 18 Syklustid (øverste panel), lengde (midterste panel) og frekvens (nederste panel) i STR (panel til venstre) og KON (panel til høyre) under 10, 12 og 14 km/t samt siste fullførte belastning (km/t) under VO_{2maks} med 6% stigning på stakemøllen. * signifikant forskjell fra pre ($p < 0,05$). H_{maks} = siste hele fullførte belastning i makstesten.

5.14.2 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 90 min staketesten.

Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens viste ingen relativ forskjell fra pre- til posttest mellom STR og KON ($p>0,05$) (figur 19).

Absolutte sykluslengden økte signifikant fra pre- til posttest for begge gruppene ved tidspunktet 3-4 min og ved 18-19 min i KON ($p<0,05$). Begge gruppene reduserte signifikant sykluslengden ved 38-39 og 88-89 min ($p<0,05$) (figur 19, midterste panel). Det var ingen andre signifikant forskjeller ($p>0,05$) (figur 19, øverste og nederste panel).

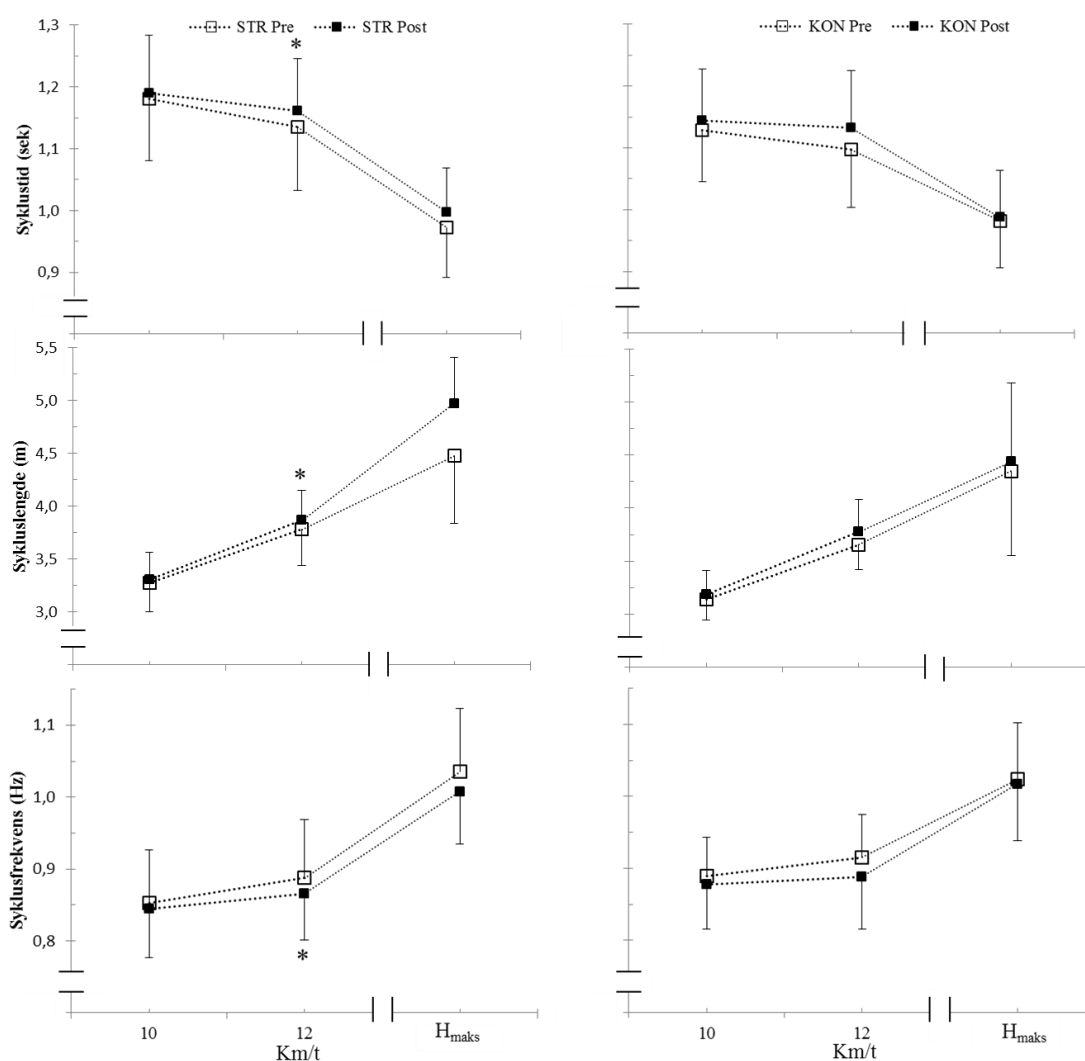


Figur 19 Relative endringer (post- mot pre-intervensjon) i syklustid (sek), sykluslengde (m) og syklusfrekvens (Hz) under 90 min staketesten. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. * signifikant absolutte forskjell fra pre- til posttest innad i STR og KON ($p<0,05$).

5.14.3 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens under 10 og 12 km/t og siste hele fullførte belastning under TTU test etter 90 min submaksimal staking, testdag 2.

STR viste en signifikant økning i syklustid og sykluslengde samt reduksjon i frekvens på 12 km/t fra pre- til posttest (hhv. $2,6 \pm 6,9\%$, $p= 0,002$, $2,6 \pm 6,9\%$, $p= 0,004$ og $-2,1 \pm 6,9\%$, $p= 0,001$). KON viste ingen signifikant endring ($p>0,05$) (figur 20).

Det var ingen relativ forskjell mellom gruppene fra pre- til posttest under noen av de fullførte hastighetene ($p>0,05$).



Figur 20 Syklustid (øverste panel), sykluslengde (midterste panel) og syklusfrekvens (nederste panel) i STR (panel til venstre) og KON (panel til høyre) under 10 og 12 km/t samt siste fullførte belastning (km/t) under TTU med 6% stigning på stakemøllen etter 90 min submaksimal staking. * signifikant forskjell fra pre ($p<0,05$). H_{maks} = siste hele fullførte belastning i makstesten.

5.14.4 Syklustid, sykluslengde og syklusfrekvens samt VO₂ mellom pre vs. pre testdag 1 til 2 og post vs. post testdag 1 til 2 innad i STR og KON.

STR hadde signifikant lavere økning i syklusfrekvens samt mindre reduksjon i sykluslengde og syklustid innad i posttestene fra testdag 1 til testdag 2 ved 12 km/t, sett i forhold til pretest ($p < 0,05$) (tabell 16, figur 21). Dvs. STR klarte å holde lengre sykluslengder, syklustid og lavere frekvens på 12 km/t før TTU ved posttest dag 2 i forhold til pretest dag 2.

Det ble også sett en tendens til mindre økning i oksygenforbruk innad i posttest på 12 km/t fra testdag 1 til 2 ($p = 0,069$) i STR (tabell 16, figur 21). Dvs. STR hadde et mindre oksygenforbruk på 12 km/t posttest før TTU testdag 2.

Ingen signifikant endring skjedde i KON eller under 10 km/t ($p > 0,05$).

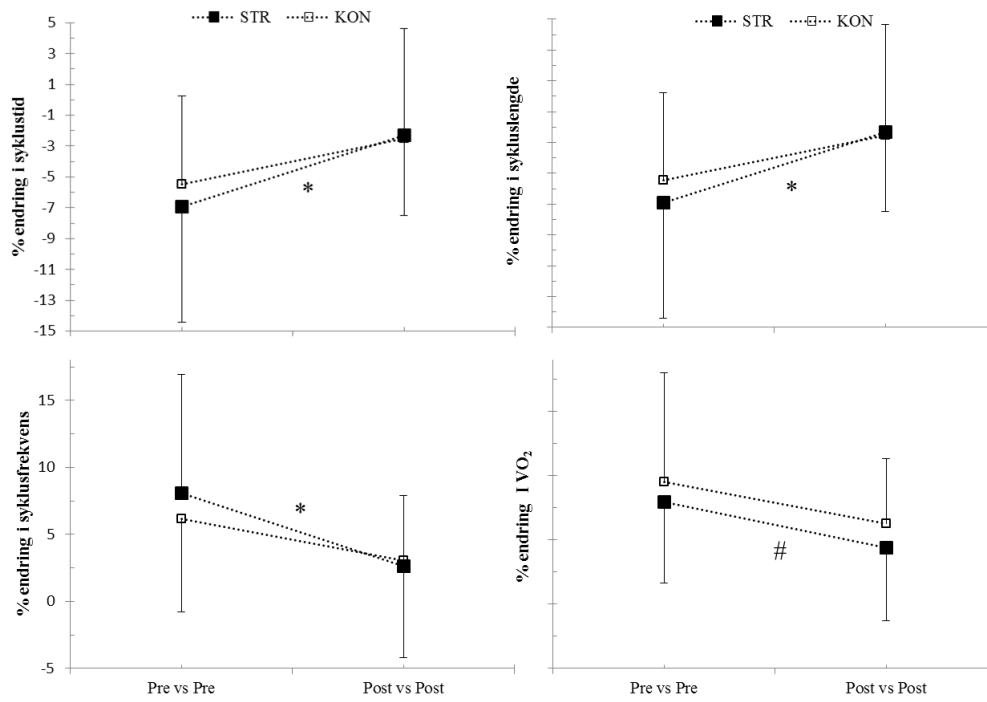
Syklustid, sykluslengde, syklusfrekvens og VO₂ viste ingen signifikant forskjell mellom gruppene innad i pretest og posttest fra testdag 1 til 2 sett på prosentpoeng ($p > 0,05$).

Tabell 16 Viser prosent endring fra pre vs. pre og post vs. post testdag 1 til 2 i STR under 12 km/t.

	Pre vs. Pre	Post vs. Post
Syklustid	-6,9 ± 7,5	-2,3 ± 5,2 *
Sykluslengde	-6,9 ± 7,5	-2,3 ± 5,2 *
Syklusfrekvens	8,1 ± 8,8	2,6 ± 5,3 *
VO ₂	7,9 ± 6,3	4,4 ± 5,7 #

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. Signifikant forskjell fra pre vs. pre ($p < 0,05$).

Tendens til forskjell fra pre vs. pre ($p < 0,1$).



Figur 21 Relative endringer (pre vs. pre mot post vs. post intervensjon) i syklustid, sykluslengde, syklusfrekvens og oksygenforbruk (VO₂) ved 12 kmt/t testdag 1 til testdag 2. Data er gjennomsnitt ± standardavvik. * signifikant forskjell fra pre vs. pre til post vs. post innad i STR og KON (p<0,05). # tendens til signifikant forskjell pre vs. pre til post vs. post innad i STR og KON (p<0,10).

6. Diskusjon

Hovedfunnet i studien var at åtte uker med tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstrening viste signifikant bedre prestasjon, målt som TTU direkte etter 110 min staking på en submaksimal belastning. Denne prestasjonsforbedringen tenderte til å være større enn kontrollgruppen som ikke trente tung styrketrening. STR fikk også en større økning i 1 RM enn KON. Den positive effekten av styrketreningen vises også gjennom en moderat praktisk effekt av STR på TTU etter 110 min submaksimal staking sammenlignet med KON (ES=0.80). Addering av styrketrening viste også forbedring i form av redusert oksygenforbruk, hjertefrekvens (HF), laktat [La⁻] og Borgskår fra 20 min og utover i den 110 min submaksimale staketesten for STR. KON viste også forbedring i oksygenforbruk og HF. I motsetning til STR viste KON ingen endring i Borgskår de 20 siste min av den 110 min staketesten. I tillegg hadde KON signifikant økning i RER- verdien under hele 110 min staketesten.

6.1 *Maksimal styrke, kroppsvekt og DXA-måling.*

Kun STR økte 1 RM i alle styrketestene, samt at økningen var signifikant større i sittende nedtrekk ($8,9 \pm 4,4\%$) og tricepspress ($21,7 \pm 10,8\%$) sammenlignet med KON. Hos langrennsløpere hvor styrketrening har blitt addert til utholdenhetstreningen har det blitt observert en økning fra 9,9-24,5% i 1 RM på overkroppsovelser (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014). Dette samsvarer dermed med våres funn i intervensjonsstudien. Kroppsvekten økte ikke signifikant i løpet av perioden som også er i samsvar med andre studier (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Paavolainen et al., 1991; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Det finnes imidlertid en studie som fant at kvinnelige langrennsløpere i alderen 16-18 år økte kroppsvekten sin etter 10 uker med kombinert styrke- og utholdenhetstrening (Skattebo, 2014). Økt kroppsvekt er ikke alltid ønskelig i utholdenhetsidretter som langrenn, siden økt kroppsmasse betyr økt kostnad i form oksygenforbruk (Østeras et al., 2002).

DXA-målingene viste en økning i overkroppens LM fra pre- til posttest på 2,8%, som er i samsvar med andre studier (Losnegard et al., 2011). Økt LM i overkroppen kan indikere at en del av styrkeøkningen kommer av muskelhypertrofi. I litteraturen har det lenge vært diskutert om misforholdet mellom økt styrke og muskelhypertrofi, som ofte

ses hos individer som starter med systematisk styrketrening, kun skyldes forbedring av neurale adaptasjoner (Folland & Williams, 2007). I den senere tid har det imidlertid kommet eksperiment hvor muskelmasseutvikling allerede fra starten av intervensjonen har blitt sett, som dermed kan bidra til styrkeøkningen (Abe et al., 2000; Seynnes et al., 2007). Siden det metodisk er vanskelig å måle de små tverrsnittøkningene i muskelfibrene i starten av en styrketreningsperiode, gjør at dette misforholdet er vanskelig å kvantifisere. Sannsynligvis skyldes styrkeøkningen (resultatavsnitt figur 11, 12) i denne studien både neurale- og hypertrofiske adaptasjoner, nettopp på grunn observert økt LM i overkroppen. Videre kan forbedret teknikk i styrkeøvelsene og forbedret samarbeid mellom agonister og synergister forklare en del av styrkeøkningen (Losnegard et al., 2011).

Styrkeøkningen i sittende nedtrekk og tricepspress ligger noe lavere enn hva som er forventet økning hos forholdsvis utrente personer (~ 35-40%) (Kraemer et al., 2002). Det forholdsvis store styrketreningsvolumet (8 uker à 3 ukentlige økter med tung styrketrening) på overkroppsmuskulaturen kombinert med utholdenhetsbelastning både på over- og underekstremitet kan muligens forklare både styrkefremgangen og redusert forventet styrkefremgang. Det er observert i studier hvor styrke og utholdenhet stimulerer samme muskelgrupper at muskelspenning og kraftutvikling kan være redusert opptil 24 timer etter utholdenhetsøkten (Sporer & Wenger, 2003). Studien til Jones og kolleger (2013) ble det observert at til større utholdenhetsvolumet var til mindre var styrkeadaptasjonen. I våres intervensjonsstudie var ~ 50% av utholdenhetstreningen anvendt i bevegelsesformer som kun går på underekstremiteten (løp/sykkel) og andre halvdel av bevegelsesformene som går på muskelgrupper både på under- og overekstremitet (ski, rulleski). I de tilfeller hvor overkroppsmuskulaturen måtte trenes på samme dag, ble FP bedt om å prioritere styrkeøkten som først økt, for å sikre best mulig vilkår for styrkeadaptasjon (T. W. Jones et al., 2013; Kraemer et al., 1995; Raastad et al., 2010; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Sporer & Wenger, 2003). Potensielt kan volumet av utholdenhetstreningen på over- og underkropp ha påvirket styrkeutviklingen, men det ble ikke kontrollert for i våres intervensjonsstudie. Muligens kan også den angivelige predominansen av type I fiber hos langrennsløpere resultere i mindre potensiale for økning i maksimal kraftutvikling enn sett hos andre utøvere (Gollnick, Armstrong, Saubert, Piehl, & Saltin, 1972; Hoff et al., 2002; Saltin, 1997). Styrkeutviklingen kan uansett ses i sammenheng med høy gjennomføring av

styrkeøktene (89%), noe som også er sett i lignende studier med samme styrkeutvikling (Hoff et al., 1999; Skattebo, 2014). Samtidig hadde FP en tett oppfølging i styrketreningen som sikret kontinuerlig belastningsprogresjon. Forholdsvis uforandret 1 RM i KON er i samsvar med andre studiers kontrollgrupper (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002).

Den observerte mindre fremgangen i benkopptrekk kan skyldes at denne testen er biomekanisk forskjellig i fra selve treningsøvelsene, tross at samme muskelgruppe aktiveres. Spesifisitet ved treningsadaptasjon baseres på at overføringsverdien er størst til øvelser som er lik de øvelsene som blir gjennomført på treningene (Raastad et al., 2010; Rønnestad et al., 2007). Dette kan forklare at styrkefremgangen i benkopptrekk var mindre, samt ikke viste signifikant forskjellig mellom gruppene ($p > 0,05$).

6.2 Fysiologisk respons under 110 min submaksimale staketest (90 min + 10 og 12 km/t)

Begge gruppene reduserte oksygenforbruk og HF fra pre- til posttest under den 110 min submaksimale staketesten, men det var ingen forskjell mellom gruppene i disse endringene. Reduksjon i HF henger nok sannsynligvis sammen med redusert oksygenforbruk og dermed mulighet for redusert energikostnad under den 110 min submaksimale staketesten. Dermed tyder det på at begge gruppene forbedret arbeidsøkonomien. I litteraturen har flertallet av langrennsstudier ikke funnet signifikant forbedret arbeidsøkonomi i forhold til KON (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014; Østeras et al., 2002). Kun Hoff og kolleger (2002) fant signifikant forbedret arbeidsøkonomi i STR i forhold til KON. Dog har flere av studiene funnet signifikant forbedring i arbeidsøkonomi kun i STR (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002), mens andre har verket funnet forbedret arbeidsøkonomi i STR eller KON (Losnegard et al., 2011; Skattebo, 2014).

Ulike metodiske tilnærminger, kan muligens forklare de noe divergente utfallene på arbeidsøkonomi. I to av studiene, ble som i vår intervensjonsstudie, testet arbeidsøkonomi på en rullskimølle (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012) i motsetning til stakeergometer på de andre studiene. Mikkola og kolleger (2007)

undersøkte arbeidsøkonomi på en 2 km innendørs staketest med dobbelttak. Både Rønnestad og kolleger (2012) og Mikkola og kolleger (2007) fant forbedret arbeidsøkonomi i STR, men ikke i forhold til KON. Mens Losnegard og kolleger (2011) fant ingen effekt. Flere av studien som har vist forbedret arbeidsøkonomi i STR, har blitt gjennomført på stakeergometer (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Østeras et al., 2002). Muligens kan prinsippet om spesifisitet mellom styrkeøvelsene og stakeergometer ha en bedre overføringsverdi til forbedret arbeidsøkonomi på stakeergometeret (Losnegard et al., 2011). På en annen side vil igjen rulleskimølle simulere til mer lik den faktiske langrennsstilen, som FP i utgangspunktet er godt kjent med (Losnegard et al., 2011). Dermed kan det tyde på at arbeidsøkonomien er forbedret uavhengig om testen foregår på stakeergometer eller rulleskimølle. Men dette forklarer ikke den manglende forbedringen i studien til Skattebo og kolleger (2014). Forfatterne spekulerer i om en lengre intervensjonsperiode, samt varighet og belastning på stakeprotokollen var for lav i forhold til å finne effekt av styrketreningen (Skattebo, 2014). Muligens kan den litt ukonvensjonelle målemetoden på arbeidsøkonomi sett i studiet til Hoff og kolleger (2002) og i for så vidt Hoff og kolleger (1999) ført til et overdrevet positivt resultat, sett i forhold til estimering av oksygenforbruk og videre kalkulering av arbeidsøkonomi. I forhold til Hoff og kolleger (1999, 2002) ble arbeidsøkonomien i våres intervensjonsstudie og i flere av de andre (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014) studiene målt som oksygenforbruk og estimert under steady-state på tre eller flere submaksimale belastninger. Hoff og kolleger (1999) målte oksygenkostnaden under tid til utmattelse på en maksimal aerob hastighet, ved å dele oksygenforbruket på dobbelttakfarten ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$). Hoff og kolleger (2002) målte oksygenkostnaden som et gjennomsnitt av oksygenforbruket på to målinger (1,5 og 2 min) på en høy submaksimal belastning. Sett i lys av fysiologien vil oksygenopptaket først oppnås som steady-state etter 3,0 – 3,5 min på submaksimale belastninger. Videre vil også oksygenforbruket under maksimale aerobe hastigheter ikke stabiliseres i steady-state nivå, men heller drifte mot $\text{VO}_{2\text{maks}}$ (VO_2 - slow component)(A. M. Jones et al., 2011). Det sist nevnte kan også tyde på at mye av arbeidet under maksimale aerobe hastigheter kan ha blitt dekket av en del anaerobe energiprosesser (A. M. Jones et al., 2011), som det ikke ble kontrollert for i studien til Hoff og kolleger (1999). Tatt dette i betraktning kan det stilles spørsmål om målemetodene Hoff og kolleger (1999, 2002) brukte var valide i måling av oksygenkostnad uttrykt som arbeidsøkonomi.

Mekanismen bak forbedret arbeidsøkonomi er uklar. Muligens kan forbedret arbeidsøkonomi relateres til utsatt rekruttering av type II motoriske enheter (Rønnestad et al., 2011; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Når muskelstyrke/masse øker ved styrketrening vil en absolutt submaksimal arbeidsbelastning kreve en lavere relativ kraftinnsats. Dette betyr at arbeidet kan i større grad gjøres av type I muskelfibre, som er mer energiøkonomiske enn type II fibre. En fibertypeovergang fra type IIx og IIax til type IIa kan også ha bidratt til forbedret arbeidsøkonomi, siden type IIx fiber er de minst energiøkonomiske muskelfibrene (Behm & Sale, 1993; Coyle et al., 1992; Hickson et al., 1988; Horowitz et al., 1994; Rønnestad & Mujika, 2013; Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Studiene til Aagaard og kolleger (2011) og Vikmoen og kolleger (2015) viste etter hhv. 16 og 11 uker med kombinert styrke- og utholdenhetstrening nettopp en økning av type IIa fiberandelen på bekostning av type IIx. Studie til Vikmoen og kolleger (2015) viste også forbedret arbeidsøkonomi. I kontrast til dette viste en regresjonsanalyse at muskelfibertyper ikke predikerte signifikant prestasjon hos syklistene (Hopker et al., 2013). Likevel er det sprikende funn i litteraturen siden andre studier har funnet sammenheng mellom fibertype og prestasjon (Coyle et al., 1992; Horowitz et al., 1994). Tross styrketreningens mulige positive effekter på fysiologiske muskeladaptasjoner, ble det likevel ikke funnet signifikant forskjell i arbeidsøkonomi mellom gruppene i våres intervensjonsstudie.

Alle staketestene i våres intervensjonsstudie ble gjennomført på 6% stigning, hvor det som nevnt ikke ble funnet forskjell i arbeidsøkonomi under 110 min staking mellom gruppene. I studien til Rønnestad og kolleger (2012) ble det funnet under submaksimal rulleskitest forskjell i arbeidsøkonomien ved 5°, men ikke på 4° stigning i STR. Videre ble Borgskåren redusert ved 5°, men ikke på 4° stigning på møllen. Ingen endring ble sett i KON. Dog var $[La^-]$ -konsentrasjonen uforandret på begge stigningene hos både STR og KON (Rønnestad, Kojedal, et al., 2012). Dermed kan det spekuleres i om en økning i stigningen på møllen under 110 min submaksimal staketest og TTU, ville resultert i en tydeligere skilnad i effekten av styrketrening. Argumentasjonen som ligger til grunn for denne tankegangen er at belastningen kan være lik innenfor en liten justering (ut i fra $[La^-]$ i Rønnestad og kolleger (2012)), men utslaget tydeliggjøres i endret oksygenforbruk og opplevd anstrengelse (Borgskår).

Videre ble det sett høyere RER-verdi under 110 min staketesten i KON, men ikke i STR. Økningen i KON var også signifikant større enn i STR ved 90 min og 100 min ($p < 0,05$). Selv om RER-verdiene holdt seg under 1.0 kan det være at KON brukte en større andel av glykogenlagrene, i motsetning til STR som man kan anta anvendte større andel fett i oksideringen. Det er kjent at reduksjon av glykogenlagrene kan spille en rolle i utviklingen av muskulær tretthet under et lengre arbeid. Glykogensparende effekt av økt fettoksidering har sannsynligvis en viktig rolle i forbedring av utholdenhetsprestasjon (Holloszy, 1973; Holloszy & Coyle, 1984). Dermed kan det være at STR gruppen hadde et større glykogenlager å gå på etter 110 min og dermed potensielt mer å forbruke under TTU.

Det ble også sett signifikant lavere Borgskår under alle tidspunktene i den 110 min staketesten i STR. I motsetning til dette, viste KON ingen signifikant forskjell under de siste 20 min i Borgskår. Det er funnet lignende mønster i Rønnestad og kolleger (2011) som fant reduksjon i Borgskår under siste 60 min i en 185 min submaksimal sykkeltest. Denne reduksjonen var signifikant lavere i STR enn KON ($p < 0,05$). Det samme ble sett av Vikmoen og kolleger (2015b) under siste timen av en 180 min sykkeltest, dog hadde også KON reduksjon i Borgskår i denne studien. Det har tidligere blitt foreslått en lineær økning i opplevd anstrengelse over en tidsbestemt belastningsperiode kan være en sensitiv prediktor for TTU (Crewe, Tucker, & Noakes, 2008). Det kan dermed tenkes at den styrketrente gruppen var lengre fra utmattelse mot slutten av 110 min submaksimal staking og kunne derfor prestere bedre på den avsluttende TTU testen.

På grunn av at begge gruppene gjennomførte pretest i slutten av april, før de hadde gjennomført mye rulleskitrening, og deretter gjennomførte relativt mye rulleskitrening i intervensjonsperioden var det ikke overraskende at de forbedret den fysiologiske responsen under den 110 min submaksimale staketesten uavhengig av styrketreningsintervensjonen. I denne delen av treningsåret går treningen oftest fra generell til mer spesifikk trening (Losnegard, Myklebust, Spencer, & Hallen, 2013). Denne forandringen inkluderer mer rulleski og skitrening som involverer mer arbeid av overkroppens muskulatur (Calbet et al., 2005; Holmberg et al., 2005). KON trente også 1,2 timer med styrke/stabilitet i uken. Totalbelastningen på overkroppen med rulleski/staking sammen med styrke/stabilitet, kan ha ført til forbedringen i den fysiologiske responsen og arbeidsøkonomien under 110 min staketest.

6.3 EMG- aktivitet under 110 min submaksimal staketest

Den signifikante lavere EMG-aktiviteten i m. triceps brachii utover staketesten kan muligens tyde på et større bidrag fra underekstremitetsmuskulaturen. Dette kan passe med den moderne dobbelttak teknikken hvor mer dynamisk bruk av underekstremiteten involveres i stakesyklusen (Holmberg et al., 2005). I en studie på godt trente langrennsløpere som gjennomførte to 20 min tester på lav- og høy intensitet, var høyintensitet ikke assosiert med økt muskelaktivitet i overkroppen (Bojsen-Møller et al., 2010). Dermed ble det foreslått at underekstremiteten ble en større bidragsyter for å etterkomme det økende intensitetskravet (Bjorklund, Stoggl, & Holmberg, 2010; Bojsen-Møller et al., 2010). Under en stakesyklus kan dette resultere i større kraftbidrag fra underekstremiteten, som kan føre til et mindre krav om kraftproduksjon i armene (Bjorklund et al., 2010). I våres intervensjonsstudie ble det sett en økende syklusfrekvens og kortere syklistid utover 110 min staketesten (absolutte tall, ikke presentert i oppgaven). På en gitt belastning kan dette føre til mindre kraft per stavgang og dermed en lavere EMG-aktivitet. Dette kan muligens reflektere hvordan FP kompensere for trøtthet i m. triceps brachii med gradvis øke kraftutviklingen i underekstremiteten. Siden det ikke ble målt EMG-aktivitet i underekstremiteten gjør at det er vanskelig å underbygge denne tankegangen.

I motsetning til funnene i våres intervensjonsstudie fant Hauswirth og kolleger (2010) signifikant lavere EMG-aktivitet i tidsperioden 55-70 min og 105-120 min i m. rectus femoris i løpet av en 2 timers sykkeltest etter fem uker med styrketrening. Testen ble gjennomført på en konstant belastning (W), hvor det ble sett en signifikant reduksjon i pedalkadensen ettersom varigheten i testen økte. Posttest ble det imidlertid sett en stabilisering av kadensen og EMG- aktiviteten under den siste timen i STR, men ikke i KON (Hauswirth et al., 2010). I motsetning til våres intervensjonsstudie ble økt EMG-aktivitet utover testen i Hauswirth og kolleger (2010) assosiert med større kraftutvikling i m. quadriceps og en reduksjon i pedalfrekvensen for å imøtekomme økt energikostnad. For syklister er dette den eneste måten syklister kan kompensere for økt trøtthet i muskulaturen, mens i langrenn på grunn av teknikken kan aktivere andre muskelgrupper (underekstremiteten). Imidlertid var EMG-aktiviteten lavere ved posttest, som kan tyde på at STR kan ha hatt en lettere reise (Hauswirth et al., 2010). Som i våres studie var det ingen annen endring i de metabolske variabler (VO_2 , RER,

HF) eller opplevd anstrengelse (Borgskår) mellom gruppene. Det var heller ingen forskjell i EMG- aktiviteten i m. vastus lateralis eller mellom gruppene.

En lavere EMG-aktivitet ved posttest i våres intervensjonsstudie kan understøtte påstanden om at STR hadde en lettere reise ved posttest. Dette var imidlertid ikke tilfelle. Likevel ses en progressiv fallende EMG_{area} utover den submaksimale staketesen i STR. En reduksjon i EMG_{area} sammen med redusert RER-verdi og noenlunde stabilt oksygenforbruk utover i den submaksimale staketesten kan tolkes i retningen av et større bidrag av type I muskelfibrene etter styrketreningsperioden (Hauswirth et al., 2010). Dette kan ses i sammenheng med at langrennsløpere har en predominans av langsomme type 1 fibre (70-75%) i armene og skuldrene (Lindinger, Holmberg, et al., 2009; Saltin, 1997), hvor maksimalstyrken til type I fibre økes ved styrketreningen. Dette gjør fibrene blir mer utholdende ved absolutte submaksimale belastninger og dermed utsettes trøtthetsutviklingen i muskulaturen under langvarige arbeid (Rønnestad & Mujika, 2013). Videre vil en lavere EMG-aktivitet og dermed lavere relativ stavkraft muligens medføre hurtigere fjerning av $[La^-]$ i armene (Bjorklund et al., 2010), og mindre relativ konstriksjon av blodårene som kan føre til mer optimale forhold for aerob metabolisme (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Østeras et al., 2002). I litteraturen er det også observert lavere EMG-aktivitet hos syklistene med større maksimal kraft, uavhengig av VO_{2maks} og W_{maks} (Bieuzen et al., 2007).

6.4 Effekt av styrke på sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid.

Under økende submaksimale og maksimale belastninger er det observert i studier lengre stavsylkluslengder, lavere syklusfrekvens og lengre absolutt avspenningstid i teknikken dobbelttak hos de sterkeste og beste skiløperne (Lindinger, Stoggl, et al., 2009). Denne karakteristikken er assosiert med mer omfattende oksygenopptak fra blodet i alle ekstremitetsleddene (Bilodeau, Rundell, Roy, & Boulay, 1996; Holmberg et al., 2005; Lindinger, Stoggl, et al., 2009; Stoggl & Holmberg, 2011; Stoggl & Muller, 2009; Stoggl et al., 2011). Denne tendensen med økt sykluslengde og redusert syklusfrekvens under submaksimale og maksimale belastninger kan ses igjen i våres intervensjonsstudie under de to første belastningene i laktatprofiltesten og ved maksimal hastighet under TTU ved testdag 2. Dette mønsteret ses tydeligere hos STR enn KON med signifikant økning i sykluslengde og reduksjon i syklusfrekvens på 12 km/t ved

posttest ($p < 0,05$). Det var imidlertid ingen signifikante forskjeller mellom gruppene. Videre under submaksimale hastigheter er det blitt observert i studier at sykluslengden holdes konstant med evt. en økende syklusfrekvens (Stoggl & Muller, 2009). I denne studien under 90 min, ses en konstant sykluslengde fra 40 min og utover testen sammen med en økende frekvens ved posttest (absolutte tall er ikke presentert i oppgaven). Det har blitt foreslått at lengre sykluslengder og avspenningsfase som oppnås ved hurtig og kort muskelaktivering innad i en syklusfase er mer økonomisk på submaksimale belastninger (Stoggl & Muller, 2009). På en gitt belastning kan dette medføre til bedre oksygenopptak i den arbeidende muskulaturen (Hoff et al., 1999; Stoggl et al., 2011).

I litteraturen har én studie observert på World cup skiløpere (WC) lengre sykluslengder og lavere syklusfrekvenser under tre submaksimale samt en maks hastighet i dobbeltdans i skøyting (G3), sammenlignet med Norges cup skiløpere (NC). Løperne var like i over og underkroppsstyrke målt i 1 RM sittende nedtrekk og et beins knebøy. I tillegg hadde WC tendens til lavere aerob samt lavere anaerob metabolisme (W) enn NC. Dog hadde de høyere gross efficiency (GE) under de submaksimale hastighetene enn NC (Sandbakk et al., 2010). Dette kan muligens tyde på at GE og teknikk kan påvirke sykluslengde og frekvens på submaksimale og maks hastigheter. I våres intervensjonsstudie kan det være at dobbelttak teknikken påvirker mer utfallet i sykluslengde og frekvens enn styrkeforskjellen mellom gruppene. Det er dermed vanskelig å få tydelig frem effekten av styrketrening på grunn av at teknikken har en konfunderende effekt. Ulik teknikk kan f.eks. bestemme om forsøkspersonene FP klarer å preaktivere overkroppsmuskulaturen og dermed få utnyttet strekkforkortningssyklusen som kan brukes til å oppnå økt kraft og sykluslengde (Holmberg et al., 2005; Lindinger, Holmberg, et al., 2009). Videre kan strekkforkortningssyklus også muligens bidra til å redusere en forsinkelse av muskelkraftutviklingen i starten av stavisettfasen (Nilsson et al., 2013). Mekanismen bak strekk forkortningssyklus er likevel noe omdiskutert, hvor også reflekspotensiale ved muskelforlening kan være en bidragsyter til økt kraft under stavisettfasen (Meunier & Pierrot-Deseilligny, 1989; Nilsson et al., 2013). Studier indikerer imidlertid relasjon mellom forbedret stakeprestasjon og økt sykluslengde kan oppnås med økt muskelstyrke- og/eller effekt (Stoggl & Muller, 2009). Dette kan relateres til våres intervensjonsstudie hvor STR klarte å holde en lengre sykluslengde og sykluslengde samt en lavere frekvens på 12 km/t før TTU under posttest dag 2 i forhold til pretest dag 2 (figur 21). I tillegg ble det også observert i STR en mindre økning i

oxygenforbruk ved posttest fra dag 1 til dag 2 under 12 km/t. Disse faktorene kan ses i sammenheng med at den relative avspenningsfasen ble lengre og dermed bedre forhold for oksygenopptak fra blodet. Dermed kan STR gå billigere på belastningen enn KON. Dog var ingen av variablene signifikant forskjellig fra KON.

6.5 Effekt av styrketrening på prestasjon

TTU økte signifikant fra pre- til posttest for begge gruppene under testdag 1. Testdag 2 hvor TTU ble gjennomført direkte etter 110 min submaksimal staking, viste kun STR en signifikant fremgang (19,6%, $p < 0,001$). Fremgangen viste en tendens til å være større i STR i forhold til KON ($p = 0,07$). Tendensen understøttes også av en moderat praktisk effekt av styrketrening på TTU etter 110 min submaksimal staking ($ES = 0,80$).

En mekanisme som kan forklare prestasjonsfremgangen i STR kan være økt anaerob kapasitet, som kan stå for en del av energifrigjøringen i TTU. Ved en høyere anaerob kapasitet hos STR skulle det også være nærliggende å forvente en større økning i W_{maks} under siste minuttet av VO_{2maks} testen på dag 1. Dette skjedde imidlertid ikke, for både STR og KON var forholdsvis like i utviklingen av W_{maks} under testdag 1. Den samme utviklingen hvor forskjellen mellom gruppene blir først tydeligere etter arbeid på en langvarig submaksimal belastning, ses igjen i en sykkelstudie (Vikmoen, Rønnestad, et al., 2015b). I denne studien var W_{maks} uforandret mellom gruppene under VO_{2maks} testen. Men etter 180 min sykling på en submaksimalbelastning ble det funnet gjennomsnittlig bedre effekt (W) i en fem min anstrengelsestest for STR, men ikke i KON. Videre så også Rønnestad og kolleger (2011) en signifikant bedre prestasjon i STR i forhold til KON under en 5 min anstrengelsestest etter 185 min sykling på en submaksimalbelastning. Vikmoen og kolleger (2015b) sine målinger var imidlertid ikke signifikant forskjellig mellom gruppene, men i likhet med våres intervensjonsstudie ble det sett en moderat praktisk effekt av STR ($ES: 0,62$). Disse studiene og våres intervensjonsstudie tyder dermed på at effekten av styrketrening ikke blir tydelig før FP kommer i en mer trett tilstand. Dermed kan muligens FP sin anaerobe kapasitet være avgjørende i sluttspurten i et langløp. Dette kan styrkes gjennom en nyere studie hvor økt anaerob kapasitet (W) korrelerte sterkt med TTU etter åtte uker med styrketrening på syklist (Sawyer et al., 2014). Her økte TTU signifikant mere i STR enn KON. Imidlertid ble det som i våres intervensjonsstudie ikke sett endring i aerob kapasitet (kritisk effekt (CP)). CP viste i studien en trivel/lav korrelasjon med TTU. Forfatterne

mener dermed at forbedret TTU sett i styrkeintervensjoner ikke kan predikeres entydig av CP (Sawyer et al., 2014).

En økt anaerob kapasitet kan oppnås gjennom økt muskelmasse eller økt mengde anaerobe enzymer (Bangsbo et al., 1993). I våres intervensjonsstudie ble det sett en økning i LM i overkroppen fra pre-til posttest, som kan underbygge økt anaerob kapasitet i STR. I Vikmoen og kolleger (2015b) ble det sett en stor korrelasjon mellom LM i underekstremiteten og gjennomsnittlig effektproduksjon under 5 min anstrengelsestest etter 180 min submaksimal sykling ($r=0,71$). I våres intervensjonsstudie ble det sett en signifikant økning i terskelwatt under 2 mmol/L $[La^-]$ fra pre-til posttest i STR (16,6%) testdag 1 ($p=0,0045$). Ingen signifikant endring ble sett i KON. Dette er i samsvar med Rønnestad og kolleger (2010) som fant økt terskelwatt på 2 mmol/L $[La^-]$ på godt trente syklister som hadde trent samtidig styrke og utholdenhet i 12 uker. Siden 110 min submaksimale stakingen ble gjennomført på intensitet svært lik 2 mmol/L $[La^-]$ kan dette tyde på at STR var mindre utslitt mot slutten av den submaksimale testen og dermed kunne prestere bedre på den avsluttende TTU testen. Den praktiske effekten av STR på terskelwatt under 2 mmol/L $[La^-]$ i forhold til KON viste seg imidlertid å være liten ($ES=0,22$).

En videre forklaring til økt TTU i STR etter 110 min er tendensen til forbedret utnyttelsesgrad på 4 mmol/L $[La^-]$ ($76,5 \pm 5,9\%$ til $79,1 \pm 9,4\%$, $p=0,07$). Vikmoen og kolleger (2015) fant også forbedret utnyttelsesgrad under en 40 min sykkeltest ($p=0,05$) på godt trente kvinnelige syklister, som hadde trent samtidig styrke og utholdenhet i 11 uker. Her ble utnyttelsesgraden estimert ut i fra oksygenforbruk under siste min i hver femte min i sykkeltesten. Gjennomsnittet av alle fem min målingene under 40 min testen ble kalkulert som oksygenforbruk i prosent av VO_{2maks} . Mekanismen bak bedret utnyttelsesgrad er uklar men kan være relatert til økt muskelmasse (Vikmoen, Ellefsen, et al., 2015). Det har blitt rapportert hos syklister som bruker større andel av muskelmassen har en større utnyttelsesgrad (Coyle, 1995). Grunnen er at sannsynligvis vil en større andel mitokondrier aktiveres, og utnyttelsesgrad bestemmes hovedsakelig av andelen mitokondrier og aerobe enzymer som deler en viss mengde oksygen (Coyle, 1995; Holloszy & Coyle, 1984). Økningen i LM i overkroppen kan ha ført til mer muskelmasse har blitt aktivert og muligens forbedret utnyttelsesgraden. Dermed kan muligens STR, på en gitt belastning, gå på en lavere prosent av muskelens maksimale

respirasjonskapasitet, som videre gir mindre forstyrrelser på homeostasen. Det skal sies at LM målingene ikke hadde en kontrollgruppe å sammenligne med på grunn av liten N (1), og skal dermed tolkes med forsiktighet. Imidlertid tilsier ingen økning i overkroppsstyrken (1 RM) i KON at endringer i overkroppens LM var sannsynligvis liten eller ingen.

Mindre trøtthet mot slutten av den submaksimale staketesten kan muligens også ses i sammenheng med type aktiverte muskelfiber. I studien til Vikmoen og kolleger (2015) så de etter 11 uker med 2 styrkeøkter ukentlig at andel hybridfiber som inneholdt både IIA og IIX myosin heavy chain ble redusert fra 9% til 0%, samt en økning av type IIA-fibre (39% til 51%). Ingen endring ble sett i KON. Fibertype forandringen av type IIX korrelerte signifikant med prestasjonsendringene i både sykkel (-0,54) og løp (-0,51). Men selv om disse to variablene hadde en samvariasjon, betyr det likevel ikke at samvariasjonen utgjør en kausalitet (Laake et al., 2008). En økning av type IIA fibre som er mer trøtthetsresistente på grunn av bedre oksidativ kapasitet, men samtidig kan yte god effekt (Rønnestad & Mujika, 2013) kan i teorien bidra til økt prestasjon for STR etter 110 min staking. Det ble i denne studien ikke kontrollert for dette. Det er også foreslått at styrkeøkning av type I fiber kan forlenge tiden til trøtthet i fibre og dermed utsette aktivering av de mindre oksidative type II fibre (Rønnestad & Mujika, 2013). Argumentasjonen med at STR var mindre utslitt enn KON etter submaksimal staketest kan underbygges med tidsdifferansen mellom TTU-tiden fra testdag 1 til testdag 2 målt innad i pretest og posttest. STR var ved pretest 1,04 min dårligere på testdag 2 i forhold til testdag 1. Samme differanse viste at KON var 1,29 min dårligere pretest på testdag 2. Denne forskjellen var signifikant mindre sett ved posttest (-0,45 min) i STR, mens KON stadigvekk var 1,32 min dårligere ved testdag 2. Forskjellen innad i posttest var også signifikant mindre i forhold til KON ($p=0,048$). Forskjellen i TTU innad i posttest fra testdag 1 til testdag 2 utgjorde også en moderat praktisk effekt av STR i forhold til KON ($ES=0,91$).

Den moderate effektstørrelsen av styrketrening under prestasjonstesten kan også ses i sammenheng med at kun STR økte signifikant styrken i sittende nedtrekk og tricepspress gjennom intervensjonsperioden. Dette kan muligens støttes i den moderate korrelasjonen mellom absolutte pre-verdiene i 1 RM tricepspress og pre TTU testdag 1 hos STR ($r=0,50$, $p=0,0262$). Videre kan det ses en høy sammenheng mellom absolutte

postverdiene i armenes muskelmasse (g) og post TTU testdag 2 ($r=0,51$, $p=0,0772$, ikke presentert i resultatavsnittet). Imidlertid var den ingen korrelasjon mellom relativ endring i 1 RM og LM og TTU ($p>0,05$). Selv om det ses sammenheng mellom absolutt styrke og TTU kommer dette tydeligvis ikke til uttrykk før FP har blitt mer utmattet. For ingen endring ses mellom STR og KON i TTU under testdag 1. Dermed kan det være at styrke som i 1 RM ikke nødvendigvis er en selvstendig prediktor for utholdenhetsprestasjon (Hoff et al., 2002; Paavolainen et al., 1999). I likhet med Hoff og kollegene (2002) ble det sett en forholdsvis lav økning i 1 RM i en lignende sittende nedtrekk øvelse som våres intervensjonsstudie (hhv. 9,9% og 8,9%). Disse forfatterne foreslo at tid til maks kraft eller forbedret RFD kunne være en like stor eller større prediktor for prestasjon. Denne tolkningen virker fornuftig siden muligheten til å produsere kraft begrenses på grunn av det motsatte forholdet mellom kontraksjonshastighet- kraftutvikling ved høyere hastigheter (Holmberg et al., 2005). I våres intervensjonsstudie ble det ikke målt peak kraft eller tid til maks kraft. Likevel kan det spekuleres i om STR hadde en større økning i RFD sett i forhold til maksimal styrke.

Den fysiologiske og biomekaniske responsen av styrketreningen under den 110 min submaksimalstaketest med påfølgende TTU understreker relevansen av å simulere langløp for bedre å evaluere effektiviteten av treningsmetoder (Rønnestad et al., 2011). Ingen tidligere langrennsstudier har gjennomført en prestasjonstest etter 110 min submaksimal staking. Men i langrennsstudier hvor effekten av styrketrening på prestasjon har blitt undersøkt, samsvarer effekten med denne studien (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Østeras et al., 2002). Det finnes også studier som ikke har funnet effekt av styrketrening på langrennsprestasjon (Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014). En felles nevner for studiene som fant prestasjonsfremgang, var at samme utfallsmål (TTU) og stakeergometer ble brukt. Utfallsmålet kan være en mulig forklaring til disse funnene. TTU finner vanligvis en større endring i prestasjon enn f.eks. utfallsmålet tid brukt på en gitt distanse, TT (Hinckson & Hopkins, 2005; Hopkins, Schabort, & Hawley, 2001). Dog fant Losnegard og kolleger (2011) økt effekt (W) på 5 min staketest på stakeergometer. En underliggende faktor til den større endringen i TTU er at FP ikke styrer stakefarten (pacingen) selv. I motsetning må FP under TT ut i fra egen erfaring finne en optimal passende stakefart (pacing) for å klare å

prestere best mulig på den tiden og/eller distansen som er satt (Hinckson & Hopkins, 2005). Noe som kanskje kan forklare den manglende effekten under prestasjon i de andre studiene (Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012). På grunn av at FP ikke bestemmer stakerytmen (pacing) selv er det mindre krav om tilvenning på TTU, som i utgangspunktet kunne ha forklart endringene i TTU. Selv om Hoff og kolleger (1999, 2002) og Østerås og kolleger (2002) ikke hadde tilvenningsfase, tyder det på at tilvenning i disse tilfellene kan ses på som en mindre viktig prediktor for prestasjonen i TTU. En svakhet ved TTU er den store variasjonskoeffisient (CV) blant FP som ses i studier, men som ikke nødvendigvis resulterer i lav reliabilitet (Billat, Renoux, Pinoteau, Petit, & Koralsztein, 1994). Imidlertid kan denne variasjonskoeffisient sett i TTU, skyldes at en liten økning i effektproduksjon kan føre til stor endring FP TTU (Hinckson & Hopkins, 2005; Hopkins et al., 2001). Noe som også ses i våres intervensjonsstudie med en høy %CV i TTU posttest (STR, CV= 12,7%, KON, CV= 30,7%). I studiene til Losnegard og kolleger (2011), Rønnestad og kolleger (2012) og Mikkola og kolleger (2007) ble utfallsmålet TT målt på en utendørs bane i stedet for et stakeergometer i et laboratorie. Potensielt kunne dette blitt påvirket fra eksterne faktorer som forskjellig værforhold ved pre- og posttest. Dette var imidlertid ikke tilfelle i noen av studiene. Studiene skilte seg heller ikke i favør RM – motstand. De fleste studiene trente tung styrketrening og benyttet 3- 10 RM med fokus på maksimal mobilisering i konsentrisk fase (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Skattebo, 2014; Østerås et al., 2002). Kun studien til Mikkola og kolleger (2007) fokuserte på eksplosiv styrketrening med lav motstand og høy hastighet i bevegelsene. Denne intervensjonen økte heller ikke prestasjon på en 2 km staketest. Dog skilte Hoff og kolleger (1999, 2002) og Østerås og kolleger (2002) seg fra å trene 3 x uken med 6 RM i kun én øvelse. Det ble kun brukt sittende nedtrekk i treningsintervensjonen. Dermed kan sammenhengen mellom spesifisitet i styrkeøvelsene og stakeergometer (Rønnestad et al., 2007) resultere i bedre effekt på stakeergometer siden sittende nedtrekk har bedre overføringsverdi til stakeergometer enn rulleskiteknikken (Losnegard et al., 2011). Manglende effekt i prestasjonstest på stakeergometert i Skattebo og kolleger (2014) synes ikke forenlig med studiene til Hoff og kolleger (1999, 2002) og Østerås og kolleger (2002). Skattebo og kolleger (2014) foreslår at et stort totalt treningsvolum (summen av alle treningen) er forklaringen på at den prestasjonsfremmende effekten av styrketrening uteblir (Skattebo, 2014). Særlig Hoff og kolleger (1999, 2002) ligger noe lavere i total

treningsvolum enn Skattebo og kolleger (2014). Dermed kan man ikke utelukke treningsvolum som konfunderende faktor. Når det er sagt ligger våres intervensjonsstudie like under ukentlige timeantallet til STR og KON i Skattebo og kolleger (2014) (hhv. 12 og 10 t vs. 14 og 13 t), hvor intervensjonsstudien våres har en tendens til økt prestasjonsforskjell mellom STR og KON.

VO_{2maks} kan ikke forklare forbedringen i TTU, siden ingen endring ble verken sett i STR eller KON ($p>0,05$). Dette er forenlig med flere studier (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari, et al., 2007; Paavolainen et al., 1991; Østeras et al., 2002) som viser addering av styrketrening til utholdenhetstrening ikke har negativ effekt på utviklingen av VO_{2maks} . I Losnegard og kolleger (2010) sin studie så de en økning i VO_{2maks} på rulleskiskøying, men ved løping var VO_{2maks} uforandret. Skattebo og kolleger (2014) fant en negativ effekt på VO_{2maks} i STR. Forfatterne her mente den negative utviklingen kunne ses i sammenheng med stor totalbelastning grunnet økt treningsvolum og lite restitusjonstid for forsøkspersonene.

6.6 *Betraktninger rundt den metodiske tilnærmingen*

Teknikken i langrenn er en av de mest komplekse og sammensatte bevegelsesmønstrene blant utholdenhetsidretter (Stoggl et al., 2011) Man kan ikke se bort ifra at teknikken spiller en rolle i forbedringen fra pre-til posttest som ses under 110 min submaksimale stakingen og påfølgende TTU testen. Studiet startet i slutfasen av sesongen som betydde at forsøkspersonene hadde sine første rulleskiøkter på rulleskimøllen under pretestingen. Deretter kom en påfølgende lang treningsperiode før posttest. Her benyttet alle seg av rulleskitrening som også ses i antall treningstimer (se resultat). Dermed kan læring/tilvenningsbias ikke utelukkes og være en underliggende konfunder i forhold til forbedringen mellom gruppene (Laake et al., 2008). Det omvendte kontraksjonshastighet- kraft forholdet kan også potensielt påvirket prestasjonsutfallet. Holmberg og kolleger (2005) fant en positiv korrelasjon mellom peak stavkraft og hastighet på 85% av maksimal hastighet, som viser viktigheten av å generere høy peak stavkraft for å oppnå høy hastighet i dobbelttak. Det ble observert under testen og video i etterkant at teknikken ble dårligere ved høyere hastigheter under TTU, som kan ha påvirket prestasjon. Med andre ord ble den moderne dobbelttak teknikken med høy utgangsposisjon av hofte/hel og gravitasjonspunkt lavere med økende hastighet. Dermed kunne det bli vanskeligere å oppnå maksimal kraftoverføring til stavene og

underlaget (Holmberg et al., 2005). Dette kan potensielt resultere i kortere sykluslengde, økt syklusfrekvens og dermed kortere avspenningsfase. Muligens kunne styrke fordelene kommet tydeligere frem ved TTU på en økt stigning på stakemøllen. Dermed ville ikke frekvensen ha stoppet prestasjonen. Flere av forsøkspersonene uttrykte vanskeligheter med å holde teknikken effektiv ved de høyeste hastighetene (muntlig samtaler). En økt stigning kunne kanskje resultere i en lavere hastighet på møllen, og hvor utmattelse ville vært endepunktet for testen i stedet for teknikkfeil. Dog skal det sies at den høye Borgskåren, RER-verdien, HF og $[La^-]$ - verdien på TTU indikerer at de fleste fikk ut sitt potensiale.

Validiteten til EMG-målingene kan påvirkes fra både ikke fysiologiske og fysiologiske faktorer. Selv om elektrodeplassing ble målt opp av samme person etter nedskrevne oppmålinger og fotografi fra pretest, kan det ikke garanteres lik elektrodeplassing, uavhengig om elektrodeplassing, festing og hud preparering ble gjennomført etter standardiserte protokoller (De Luca, 1997; Konrad, 2005). Svette under testen kan ha ført til små forskyvninger og redusert hudkontakt. En relativ bevegelse på 0,1 mm kan dramatisk forandre karakteristikken til et EMG-signalet, hvor elektroden dermed fanger opp en annen motorisk enhet populasjon (De Luca, 2006). Dette ble forsøkt imøtegått av ekstra vifter under testen samt ekstra festing av elektrodene med sportstape. Siden EMG- signalene var forholdsvis gode, vurderes det til at det ikke påvirket opptaket for mye. Det kan heller ikke garanteres for signal fra nærliggende muskler (cross-talk). Dette ble prøvd unngått ved elektrodeplassing midt på muskelbuken. Uansett vil ikke støy fra nærliggende muskulatur utgjøre mer enn 10% av det samlede signalet (Konrad, 2005). Kun EMG- registrering av m. triceps brachii under staketesten er en metodisksvakhet, da fremdriften i stakebevegelsen avhenger av muskler i både over- og underekstremiteten. Likevel bør m. triceps brachii gi et valid innblikk i muskelkjeden under stakebevegelsen og dermed reflektere muskelaktiviteten i overkroppen i en stakesyklus (Holmberg et al., 2005).

Randomisering i større idrettsstudier med godt trente utøvere tilknyttet forskjellige lag og klubber gjør det vanskelig å få til en god kontrollgruppe samt tilfeldig fordeling. I denne studien ble ikke FP tilfeldig allokert til sine respektive treningsgrupper. Som følge av dette kan det oppstå seleksjonsbias. Dette kan true studiets interne validitet (Laake et al., 2008; Thomas, Nelson, & Silverman, 2005). Randomisering skal sikre lik

fordeling av kjente, men også konfunderende faktorer. Tross manglende randomisering var det ingen forskjell mellom gruppe i baselineverdier (se metode). Dette tyder på at gruppene var homogene på de variablene som ble undersøkt. Dog vil det ikke hindre seleksjonsbias siden konfunderende faktorer kan påvirke utfallet, og dermed usikkerhet om selve intervensjonen påvirker utfallet eller evt. konfunderende faktorer (Laake et al., 2008; Thomas et al., 2005) Studiet ble heller ikke blindet for testerne. Dette kan ha resultert i subjektiv påvirkning på den gruppen som ønskes effekt (Laake et al., 2008) og påvirke studiets interne validitet. Dog ble dette ikke ansett som tilfelle siden gruppene ikke var signifikant forskjellige i variablene VO_2 , $[La^-]$ og Borgskår under TTU både testdag 1 og 2.

6.7 Overveielser omkring hypotesene

Selv om studien ikke resulterte i tydelige signifikante funn mellom gruppene må eventuell falsifisering av hypotesene (H_0) vurderes opp mot betydningen av funnene, og hvordan disse evt. kan bidra til optimalisering av langløpstreningen. Den moderate effektstørrelsen forbundet med TTU i favør STR sammen med forbedret 1 RM, LM, utnyttelsesgrad viser en positiv trend av STR og i retningen av forbedret fysiologisk respons. Sett i lys av den moderate effektstørrelsen selv med forholdsvis få forsøkspersoner, kan dette tyde på at effekten av STR kunne blitt forsterket med flere forsøkspersoner. Sannsynligvis ville STR effekten blitt ytterligere forsterket med en lengre intervensjonsperiode. Derfor kan det muligens argumenteres for den reelle sannhet underestimeres og type II feil oppstår.

7. Konklusjon

Addering av tung styrketrening i tillegg til utholdenhetstreningen hos godt trente langrennsløpere resulterte i økt maksimal styrke og muskelvekst i overkroppen. Styrkegruppen viste en tendens til bedre prestasjonsøkning i tid til utmattelse etter en 110 min submaksimal staketesten enn kontrollgruppen. Økningen hos styrkegruppen hadde en moderat praktisk effektstørrelse sammenlignet med kontrollgruppen (ES= 0,80). Det var ingen signifikante forskjeller mellom gruppene i de fysiologiske variablene oksygenforbruk, hjerterefrekvens, laktat samt opplevd anstrengelse, EMG-aktivitet, sykluslengde, syklusfrekvens og syklustid under 110 min submaksimal staking. Likevel ble det sett indikasjoner på at styrkegruppen opplevde lavere grad av anstrengelse under 110 min submaksimale staketesten og bedre utnyttelsesgrad.

8. Referanseliste

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports, 20 Suppl 2*, 39-47. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01197.x
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., . . . Kjaer, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports, 21*(6), e298-307. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01283.x
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol (1985), 93*(4), 1318-1326. doi: 10.1152/jappphysiol.00283.2002
- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology, 81*(3), 174-180. doi: 10.1007/s004210050027
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle and Nerve, 23*(7), 1095-1104.
- Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *Journal of Physiology, 422*, 539-559.
- Bangsbo, J., Michalsik, L., & Petersen, A. (1993). Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine, 14*(4), 207-213. doi: 10.1055/s-2007-1021165
- Barstow, T. J., & Mole, P. A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol (1985), 71*(6), 2099-2106.
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 32*(1), 70-84.
- Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology, 86*(1), 79-84.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine, 15*(6), 374-388.
- Bell, G. J., Petersen, S. R., Wessel, J., Bagnall, K., & Quinney, H. A. (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *International Journal of Sports Medicine, 12*(4), 384-390. doi: 10.1055/s-2007-1024699
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal of Applied Physiology, 81*(5), 418-427. doi: 10.1007/s004210050063
- Bieuzen, F., Lepers, R., Vercruyssen, F., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2007). Muscle activation during cycling at different cadences: effect of maximal strength capacity. *Journal of Electromyography and Kinesiology, 17*(6), 731-738. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.07.007

- Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994). Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(2), 254-257.
- Bilodeau, B., Rundell, K. W., Roy, B., & Boulay, M. R. (1996). Kinematics of cross-country ski racing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(1), 128-138.
- Bingham, S. A. (1987). The dietary assessment of individuals; methods, accuracy, new techniques and recommendations. *Nutr Abstr Re*, 57, 705-743.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 886-891.
- Bjorklund, G., Stoggl, T., & Holmberg, H. C. (2010). Biomechanically influenced differences in O₂ extraction in diagonal skiing: arm versus leg. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1899-1908. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181da4339
- Bojsen-Moller, J., Losnegard, T., Kempainen, J., Viljanen, T., Kalliokoski, K. K., & Hallen, J. (2010). Muscle use during double poling evaluated by positron emission tomography. *J Appl Physiol (1985)*, 109(6), 1895-1903. doi: 10.1152/jappphysiol.00671.2010
- Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Canepari, M., Rossi, R., & Reggiani, C. (1999). Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(2), 87-95.
- Burd, N. A., Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., & Phillips, S. M. (2012). Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(3), 551-554. doi: 10.1139/h2012-022
- Calbet, J. A., Holmberg, H. C., Rosdahl, H., van Hall, G., Jensen-Urstad, M., & Saltin, B. (2005). Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289(5), R1448-1458. doi: 10.1152/ajpregu.00824.2004
- Chesley, A., McDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Atkinson, S. A., & Smith, A. (1992). Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 73, 1383-1388.
- Chromiak, J. A., Smedley, B., Carpenter, W., Brown, R., Koh, Y. S., Lamberth, J. G., . . . Altorfer, G. (2004). Effect of a 10-week strength training program and recovery drink on body composition, muscular strength and endurance, and anaerobic power and capacity. *Nutrition*, 20(5), 420-427. doi: 10.1016/j.nut.2004.01.005
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 357-360.
- Costill, D. L., Thomason, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, 5(4), 248-252.
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23, 25-63.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to percentage of type 1 muscle fibers. *Med Sci Sports Exercise*, 24, 782-788.

- Crewe, H., Tucker, R., & Noakes, T. D. (2008). The rate of increase in rating of perceived exertion predicts the duration of exercise to fatigue at a fixed power output in different environmental conditions. *European Journal of Applied Physiology*, *103*(5), 569-577. doi: 10.1007/s00421-008-0741-7
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports Medicine*, *35*(11), 967-989.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation : acute metabolic responses. *Sports Medicine*, *36*(1), 65-78.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports Medicine*, *36*(3), 215-238.
- De Luca, C. J. (1997). The use of surface electromyography in biomechanics. *J. Biomech*, *13*, 135-163.
- De Luca, C. J. (2006). Electromyography. Encyclopedia of medical devices and instrumentation. *John Wiley Publisher*, 98-109.
- De Luca, C. J., Gilmore, L. D., Kuznetsov, M., & Roy, S. H. (2010). Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination. *Journal of Biomechanics*, *43*(8), 1573-1579. doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.01.027
- di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*, *90*(3-4), 420-429. doi: 10.1007/s00421-003-0926-z
- Dudley, G. A., & Djamil, R. (1985). Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol (1985)*, *59*(5), 1446-1451.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, *39*(6), 469-490. doi: 10.2165/00007256-200939060-00003
- Ferrauti, A., Bergermann, M., & Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(10), 2770-2778. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d64e9c
- Fleck, S. J. (1999). Periodized Strength Training: A Critical Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *13*, 82-89.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine*, *37*(2), 145-168.
- Foss, O., & Hallen, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(7), 569-575. doi: 10.1055/s-2004-821317
- French, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S., Mogens, S., & Preben, K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exercise*, *30*, 1250-1256.
- Garfinkel, S., & Cafarelli, E. (1992). Relative changes in maximal force, EMG, and muscle cross-sectional area after isometric training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *24*(11), 1220-1227.
- Giddings, C. J., & Gonyea, W. J. (1992). Morphological observations supporting muscle fiber hyperplasia following weight-lifting exercise in cats. *Anatomical Record*, *233*, 178-195.

- Goldspink, G., & Harridge, S. (2003). *Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle, i: Strength and power in sport Kap 12, edt: Komi, P* (2 ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Gollnick, P. D., Armstrong, R. B., Saubert, C. W. t., Piehl, K., & Saltin, B. (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *Journal of Applied Physiology*, *33*(3), 312-319.
- Gonyea, W. J., Sale, D. G., Gonyea, Y., & Mikesky, A. (1986). Exercise induced increases in muscle fiber number. *European Journal of Applied Physiology*, *55*, 137-141.
- Guglielmo, L. G., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *International Journal of Sports Medicine*, *30*(1), 27-32. doi: 10.1055/s-2008-1038792
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, *125*(4), 573-585. doi: 10.1111/j.1748-1716.1985.tb07760.x
- Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., . . . Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal of Applied Physiology*, *89*(1), 42-52. doi: 10.1007/s00421-002-0751-9
- Hakkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Malkia, E., . . . Alen, M. (1998). Changes in agonist-antagonist EMG, muscle CSA, and force during strength training in middle-aged and older people. *J Appl Physiol* (1985), *84*(4), 1341-1349.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1983). Electromyographic changes during strength training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *15*(6), 455-460.
- Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *55*(2), 147-155.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Hakkinen, A., Valkeinen, H., & Alen, M. (2001). Selective muscle hypertrophy, changes in EMG and force, and serum hormones during strength training in older women. *J Appl Physiol* (1985), *91*(2), 569-580.
- Hallèn, J. (2002). *Hva bestemmer prestasjon i utholdenhetsaktiviteter? artikkelsamling "Fysiologisk adaptasjon til utholdenhetstrening"*. Oslo: Norges Idrettshøgskole.
- Hansen, E. A., Raastad, T., & Hallen, J. (2007). Strength training reduces freely chosen pedal rate during submaximal cycling. *European Journal of Applied Physiology*, *101*(4), 419-426. doi: 10.1007/s00421-007-0515-7
- Hauswirth, C., Argentin, S., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Couturier, A., & Brisswalter, J. (2010). Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *20*(2), 330-339. doi: 10.1016/j.jelekin.2009.04.008
- Heggelund, J., Fimland, M. S., Helgerud, J., & Hoff, J. (2013). Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(6), 1565-1573. doi: 10.1007/s00421-013-2586-y
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *45*(2-3), 255-263.

- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* (1985), 65(5), 2285-2290.
- Hinckson, E. A., & Hopkins, W. G. (2005). Reliability of time to exhaustion analyzed with critical-power and log-log modeling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(4), 696-701.
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*, 12(5), 288-295.
- Hoff, J., Helgerud, J., & Wisloff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 870-877.
- Hoffman, M. D., & Clifford, P. S. (1992). Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 10(1), 3-27. doi: 10.1080/02640419208729903
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Watts, P. B., Drobish, K. M., Gibbons, T. P., Newbury, V. S., . . . O'Hagan, K. P. (1994). Physiological comparison of uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(10), 1284-1289.
- Holloszy, J. O. (1973). Biochemical adaptations to exercise: aerobic metabolism. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1, 45-71.
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4), 831-838.
- Holmberg, H. C. (2005). *Physiology of Cross-Country Skiing - with special emphasis on the role of the upper body*. Stockholm: From the department of physiology and pharmacology, Karolinska Institutet.
- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stoggl, T., Eitzlmair, E., & Muller, E. (2005). Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 807-818.
- Hopker, J. G., Coleman, D. A., Gregson, H. C., Jobson, S. A., Von der Haar, T., Wiles, J., & Passfield, L. (2013). The influence of training status, age, and muscle fiber type on cycling efficiency and endurance performance. *J Appl Physiol* (1985), 115(5), 723-729. doi: 10.1152/jappphysiol.00361.2013
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Hopkins, W. G., Schabort, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Medicine*, 31(3), 211-234.
- Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., & Coyle, E. F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(3), 152-157. doi: 10.1055/s-2007-1021038
- Ingjer, F. (1991). Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1(1), 25-30.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Ruesta, M., & Gorostiaga, E. M. (2004). Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 22(5), 465-478. doi: 10.1080/02640410410001675342

- Jackson, N. P., Hickey, M. S., & Reiser, R. F., 2nd. (2007). High resistance/low repetition vs. low resistance/high repetition training: effects on performance of trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 289-295. doi: 10.1519/r-18465.1
- Johnston, R., Quinn, T. J., Kertzer, R., & Vroman, N. B. (1997). Strength training in female distance runners: impact on running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11, 224-229.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373-386.
- Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krstrup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. (2011). Slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2046-2062. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821fcfc1
- Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., & French, D. N. (2013). Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182903221
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology*, 586(1), 35-44. doi: 10.1113/jphysiol.2007.143834
- Kellis, E., & Katis, A. (2008). Reliability of EMG power-spectrum and amplitude of the semitendinosus and biceps femoris muscles during ramp isometric contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(3), 351-358. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.12.001
- Kim, S. Y., Ko, J. B., Farthing, J. P., & Butcher, S. J. (2014). Investigation of supraspinatus muscle architecture following concentric and eccentric training. *Journal of Science and Medicine in Sport*. doi: 10.1016/j.jsams.2014.05.007
- Knuttgén, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1, 1-10.
- Konrad, P. (2005). The ABC of EMG, A Practical Introduction to Kinesiological Electromyography, 1. April.
- Kostholdsplanleggeren. Kostholdsplanleggeren - et kostholdsverktøy fra Helsedirektoratet og Mattilsynet. from www.kostholdsplanleggeren.no
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., . . . Triplett-McBride, T. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., & Evans, W. J. (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 24, 363-397.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., . . . Dziados, J. E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985), 78(3), 976-989.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.
- Laake, P., Olsen, B. R., & Benestad, H. B. (2008). *Forskningsmetode i medisin og biofag* (Vol. 2). Oslo: Gyldendal akademisk.

- Leveritt, M., & Abernethy, P. J. (1999). Acute Effects of High-Intensity Endurance Exercise on Subsequent Resistance Activity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *13*, 47-51.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. (1999). Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Medicine*, *28*(6), 413-427.
- Levin, G. T., McGuigan, M. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(8), 2280-2286. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b990c2
- Lieber, R. L., & Friden, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle and Nerve*, *23*(11), 1647-1666.
- Lindinger, S. J., Holmberg, H. C., Muller, E., & Rapp, W. (2009). Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, *106*(3), 353-363. doi: 10.1007/s00421-009-1018-5
- Lindinger, S. J., Stoggl, T., Muller, E., & Holmberg, H. C. (2009). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(1), 210-220. doi: 10.1249/MSS.0b013e318184f436
- Losnegard, T. (2013). Physiological determinants of performance in modern elite cross-country skiing (PhD thesis). *Norwegian School of Sports Science, Oslo 2013*.
- Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., & Raastad, T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports*.
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M., & Hallen, J. (2013). Seasonal variations in VO₂max, O₂-cost, O₂-deficit, and performance in elite cross-country skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(7), 1780-1790. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6
- MacDougall, J. D. (2003). *Strength and power in sport, ed: Komi, P, kap 13: hypertrophy and hyperplasia* (2 ed.). Oxford: Blackwell Science Publication.
- MacDougall, J. D., Gibala, M. J., Tarnopolsky, M. A., MacDonald, J. R., Interisano, S. A., & Yarasheski, K. E. (1995). The time course for elevated muscle protein synthesis following heavy resistance exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *20*(4), 480-486.
- Mahood, N. V., Kenefick, R. W., Kertzer, R., & Quinn, T. J. (2001). Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(8), 1379-1384.
- Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., & Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *23*(6), 739-743.
- Marshall, P., & Murphy, B. (2003). The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *13*(5), 477-489.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). *Excercise physiology. Energy, nutrition and human performance* (5 ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A., & Agre, J. C. (2002). Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*, *34*(3), 511-519.

- Medbo, J. I., & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4), 501-507.
- Meunier, S., & Pierrot-Deseilligny, E. (1989). Gating of the afferent volley of the monosynaptic stretch reflex during movement in man. *Journal of Physiology*, 419, 753-763.
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., & Hakkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 28(7), 602-611. doi: 10.1055/s-2007-964849
- Mikkola, J., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M., & Hakkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 613-620.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and $\dot{V}O_2$ kinetics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(8), 1351-1359.
- Minahan, C., & Wood, C. (2008). Strength training improves supramaximal cycling but not anaerobic capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 102(6), 659-666. doi: 10.1007/s00421-007-0641-2
- Mittelstadt, S. W., Hoffman, M. D., Watts, P. B., O'Hagan, K. P., Sulentic, J. E., Drobish, K. M., . . . Clifford, P. S. (1995). Lactate response to uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(11), 1563-1568.
- Nader, G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1965-1970. doi: 10.1249/01.mss.0000233795.39282.33
- Nilsson, J., Tinmark, F., Halvorsen, K., & Arndt, A. (2013). Kinematic, kinetic and electromyographic adaptation to speed and resistance in double poling cross country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 113(6), 1385-1394. doi: 10.1007/s00421-012-2568-5
- Nilsson, J., Tveit, P., & Eikrehagen, O. (2004). Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. *Sports Biomech*, 3(1), 85-107. doi: 10.1080/14763140408522832
- Noraxon INC, U. (2011). *MyoResearch XP, Master Edition/Basic Edition, Main Manual, Version 1.07*: Noraxon INC, Scottsdale, USA.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., Hamalainen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* (1985), 86(5), 1527-1533.
- Paavolainen, L., Hakkinen, K., & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(4), 251-255.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 377-382. doi: 10.1519/R-12842.1
- Phillips, S. M., Tipton, K. D., Aarsland, A., Wolf, S. E., & Wolfe, R. R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 273(1 Pt 1), E99-107.

- Pizza, F. X., Naglieri, T. A., Holtz, R. W., Mitchell, J. B., Starling, R. D., Phillips, M. D., . . . Braun, W. A. (1996). Maximal accumulated oxygen deficit of resistance-trained men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *21*(5), 391-402.
- Prior, B. M., Cureton, K. J., Modlesky, C. M., Evans, E. M., Sloniger, M. A., Saunders, M., & Lewis, R. D. (1997). In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol* (1985), *83*(2), 623-630.
- Psilander, N., Frank, P., Flockhart, M., & Sahlin, K. (2014). Adding strength to endurance training does not enhance aerobic capacity in cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12338
- Raastad, T., Paulsen, G., Refsnes, P. E., Rønnestad, B. R., & Wisnes, A. R. (2010). *Styrketrening - i teori og praksis* (Vol. 1). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Ratamess, N. A., Alvar, B., A, Evetoch, T., K, Housh, T. J., Kibler, N., Kraemer, W. J., & Triplett, T. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *41*(3), 687-708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
- Ravichandiran, K., Ravichandiran, M., Oliver, M. L., Singh, K. S., McKee, N. C., & Agu, A. (2009). Determining physiological cross-sectional area of extensor carpi radialis longus and brevis as a whole and by regions using 3D computer muscle models created from digitized fiber bundle data. *Elsevier, computer methods and programs in biomedicin*, *95*, 203-2012.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *287*(3), R502-516. doi: 10.1152/ajpregu.00114.2004
- Rodriguez, N. R., DiMarco, N. M., & Langley, S. (2009). Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *Journal of the American Dietetic Association*, *109*(3), 509-527.
- Rønnestad, B. R. (2009a). Acute effects of various whole-body vibration frequencies on lower-body power in trained and untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(4), 1309-1315. doi: 10.1519/JSC.0b013e318199d720
- Rønnestad, B. R. (2009b). Acute effects of various whole body vibration frequencies on 1RM in trained and untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(7), 2068-2072. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b8652d
- Rønnestad, B. R., Egeland, W., Kvamme, N. H., Refsnes, P. E., Kadi, F., & Raastad, T. (2007). Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(1), 157-163. doi: 10.1519/r-19895.1
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(5), 965-975. doi: 10.1007/s00421-009-1307-z
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports*, *25*(1), e89-98. doi: 10.1111/sms.12257
- Rota, S., Rogowski, I., Champely, S., & Hautier, C. (2013). Reliability of EMG normalisation methods for upper-limb muscles. *Journal of Sports Sciences*, *31*(15), 1696-1704. doi: 10.1080/02640414.2013.796063

- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports*, *21*, 250-259. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01035.x
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(4), 1457-1466. doi: 10.1007/s00421-011-2112-z
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2014). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports*.
- Rønnestad, B. R., Kojedal, O., Losnegard, T., Kvamme, B., & Raastad, T. (2012). Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(6), 2341-2352. doi: 10.1007/s00421-011-2204-9
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2013). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance, A review.pdf. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12104
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *20*(5 Suppl), S135-145.
- Sale, D. G. (2003). *Neural adaption to strength training Kap 15, i : Strength and power in sport, edt: Komi, P* (2 ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Sale, D. G., MacDougall, J. D., Jacobs, I., & Garner, S. (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol* (1985), *68*(1), 260-270.
- Saltin, B. (1997). *The physiology of competitive cc skiing across a four decade perspective; with a note on training induced adaptations and role of training at medium altitude, In: Müller, EH, Kornexl E, Raschner, C (eds) Science and skiing*. Camebridge: Chapman and Hall.
- Saltin, B., & Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, *23*(3), 353-358.
- Sandbakk, O., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2010). Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European Journal of Applied Physiology*, *109*(3), 473-481. doi: 10.1007/s00421-010-1372-3
- Sandbakk, O., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2011). The physiology of world-class sprint skiers. *Scand J Med Sci Sports*, *21*(6), e9-16. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(4), 947-954. doi: 10.1519/r-18235.1
- Sawyer, B. J., Stokes, D. G., Womack, C. J., Morton, R. H., Weltman, A., & Gaesser, G. A. (2014). Strength training increases endurance time to exhaustion during high-intensity exercise despite no change in critical power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(3), 601-609. doi: 10.1519/JSC.0b013e31829e113b
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2014). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci*, 1-10. doi: 10.1080/17461391.2014.989922

- Sedano, S., Marin, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2433-2443. doi: 10.1519/JSC.0b013e318280cc26
- Seniam.org. Seniam.org. from <http://seniam.org/>
- Seynnes, O. R., de Boer, M., & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol (1985)*, 102(1), 368-373. doi: 10.1152/japplphysiol.00789.2006
- Shephard, R. J., Bouhler, E., Vandewalle, H., & Monod, H. (1988). Muscle mass as a factor limiting physical work. *J Appl Physiol (1985)*, 64(4), 1472-1479.
- Skattebo, Ø. (2014). *Effekten av maksimal styrketrening på prestasjon i langrenn - En 10 uker lang intervensjonsstudie*. Oslo: Masteroppgave, Norges Idrettshøgskole.
- Sporer, B. C., & Wenger, H. A. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 638-644.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89(1), 1-7. doi: 10.1007/s00421-002-0741-y
- Staib, J. L., IM, J., Caldwell, Z., & Rundell, K. W. (2000). Cross-country ski racin performance predicted by aerobic and anaerobic double poling power. *J. Strength COnd. REs*, 14, 282-288.
- Staron, R. S., Leonardi, M. J., Karapondo, D. L., Malicky, E. S., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., & Hikida, R. S. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol (1985)*, 70(2), 631-640.
- Stoggl, T., Bjorklund, G., & Holmberg, H. C. (2013). Biomechanical determinants of oxygen extraction during cross-country skiing. *Scand J Med Sci Sports*, 23(1), e9-20. doi: 10.1111/sms.12004
- Stoggl, T., & Holmberg, H. C. (2011). Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e393-404. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01324.x
- Stoggl, T., Lindinger, S., & Muller, E. (2007a). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scand J Med Sci Sports*, 17(4), 362-372. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00589.x
- Stoggl, T., Lindinger, S., & Muller, E. (2007b). Evaluation of an upper-body strength test for the cross-country skiing sprint. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(7), 1160-1169. doi: 10.1249/mss.0b013e3180537201
- Stoggl, T., & Muller, E. (2009). Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(7), 1476-1487. doi: 10.1249/MSS.0b013e31819b0516
- Stoggl, T., Muller, E., Ainegren, M., & Holmberg, H. C. (2011). General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), 791-803. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01078.x
- Stoggl, T., Muller, E., & Lindinger, S. (2008). Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1225-1233. doi: 10.1080/02640410802027386

- Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(6), 1087-1092. doi: 10.1249/MSS.0b013e318168da2f
- Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(8), 2157-2165. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., . . . Hakkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *International Journal of Sports Medicine*, *31*(7), 468-476. doi: 10.1055/s-0029-1243639
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A., & Hakkinen, K. (2013). Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(2), 325-335. doi: 10.1007/s00421-012-2440-7
- Tamaki, T., Akatsuba, A., Tokunaga, M., Ishige, K., Uchiyama, S., & Shiraishi, T. (1997). Morphological and biochemical evidence of muscle hyperplasia following weight-lifting exercise in rats. *American Journal of Physiology*, *273*, 246-256.
- Tesch, P. A., & Alkner, B. A. (2003). *Strength and Power in Sport*, ed. Komi, P, kap 14 *Acute and Chronic Muscle Metabolic Adaptations to Strength Training* (2 ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publication.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K., & Silverman, S. J. (2005). *Research methods in physical activity* (5 ed.): Champaign IL: Human Kinetics.
- Tokmakidis, S. P., Leger, L. A., & Piliandis, T. C. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *77*(4), 333-342. doi: 10.1007/s004210050342
- Turner, A. M., Owings, M., & Schwane, J. A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(1), 60-67.
- Vikmoen, O., Ellefsen, S., Troen, O., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2015). Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO and cycling economy in female cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12468
- Vikmoen, O., Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., & Raastad, T. (2015a). *Effect of heavy strength training on running performance determinants and performance in trained female endurance athletes*. Abstrakt.
- Vikmoen, O., Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., & Raastad, T. (2015b). *Strength training improves running and cycling performance*. Abstrakt.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., Stringer, W. W., & Whipp, B. J. (2005). *Principles of exercise testing and interpretation, including pathophysiology and clinical applications* (4W ed.). Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Welde, B., Evertsen, F., Von Heimburg, E., & Ingulf Medbo, J. (2003). Energy cost of free technique and classical cross-country skiing at racing speeds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(5), 818-825. doi: 10.1249/01.mss.0000064936.04725.fd

- Wernbom, M., Augustsson, J., & Raastad, T. (2008). Ischemic strength training: a low-load alternative to heavy resistance exercise? *Scand J Med Sci Sports*, 18(4), 401-416. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00788.x
- Yan, Z. (2000). Skeletal muscle adaptation and cell cycle regulation. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(1), 24-26.
- Østeras, H., Helgerud, J., & Hoff, J. (2002). Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 255-263. doi: 10.1007/s00421-002-0717-y
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology - Physiological bases of exercise* (4 ed.). Canada: Human Kinetics.

9. Tabelloversikt

Tabell 1 Antropometriske data for vibrasjonstreningsgruppen, tradisjoneltreningsgruppen, kontrollgruppen og styrkegruppen (STR; sammenslåing av vibrasjon og tradisjonell styrketrening).....	35
Tabell 2 Styrketreningsprogram under åtte uker intervensjon.....	37
Tabell 3 Gjennomsnittlig energiinntak over fire dager med kostholdsregistrering, gjennomsnittlig energiinntak g/kg/kroppsvekt per dag og gjennomsnittlig totale energiinntak. Samt andel av kostens totale energiinnhold som kommer fra karbohydrat, fett og protein uttrykt som energiprosent (E%).....	39
Tabell 4 Treningstimer siste fire dager før testdag 1, timer per uke fra sesongslutt til testdag 1 og totalt treningstimer sist år fordelt på de ulike intensitetssonene, tung styrketrening og stabilitetstrening.	53
Tabell 5 Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på bevegelsesform og prosentvis fordeling av totalt treningsvolum for STR og KON. ES beregnet på % endring.	54
Tabell 6 Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på intensitetssone 1, 2 og 3 og prosentvis fordeling av intensitetssonene. ES beregnet på % endring.....	54
Tabell 7 Fysiologiske målevariabler under de to belastningene 10- og 12 km/t i laktatprofiltesten, testdag 1. ES beregnet på % endring.	58
Tabell 8 Fysiologiske målevariabler under de to belastningene (10- og 12 km/t) i laktatprofiltesten, testdag 2. ES beregnet på % endring.....	59
Tabell 9 Forskjell fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) i de fysiologiske målevariabler under VO_{2maks} testdag 1 og 2. ES beregnet på % endring.	61
Tabell 10 TTU pre og posttest sett i forhold til dag 1 vs. dag 2. ES beregnet på absolutte tall.	61
Tabell 11 EMG delta endring målt i m. triceps brachii (pre- mot post-intervensjon) under 110 min submaksimalstaketest (måletidspunkt:3-4, 48-49 og 88-89, 105 og 110 min), testdag 2.	62
Tabell 12 Effektstørrelse (Cohen's <i>d</i>) beregnet på delta endring i m. triceps brachii mellom STR og KON.....	62
Tabell 13 Viser forskjell i W_{maks} fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) i siste fullførte minutt under VO_{2maks} testdag 1. ES beregnet på % endring.	65

Tabell 14 Viser forskjell i laktat (W) og utnyttelsesgrad på 2 mmol/L [La⁻] fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) mellom gruppene testdag 1 (10,12 og 14 km/t). 66

Tabell 15 Viser forskjell i laktat (W) og utnyttelsesgrad på 4 mmol/L [La⁻] fra pre- til posttest og relativ forskjell (post- mot pre-intervensjon) mellom gruppene testdag 1 (10,12 og 14 km/t). 66

Tabell 16 Viser prosent endring fra pre vs. pre og post vs. post testdag 1 til 2 i STR under 12 km/t..... 70

10. Figuroversikt

Figur 1 Oversikt over forløpet i intervensjonsstudien. TTU = tid til utmattelse.	36
Figur 2 Stakeimitasjonsøvelsen 1. Utgangsposisjon 2. Midtposisjon 3. Sluttposisjon .	37
Figur 3 Stakeimitasjonshåndtaket som ble benyttet under maksstyrketestene og styrketreningsintervensjonen.	40
Figur 4 Sittende nedtrekk. 1. utgangsposisjon 2. sluttposisjon	40
Figur 5 Benkopptrekk. 1. Utgangsposisjon 2. Sluttposisjon	41
Figur 6 Tricepspress. 1. Utgangsposisjon 2. Midtposisjon 3. Sluttposisjon.....	41
Figur 7 Oppsett med sikkerhetssele på overkroppen og tausystem under VO_{2maks} test.	43
Figur 8 Laktatprofil- og VO_{2maks} protokoll	44
Figur 9 Oversikt over testdag 2 protokollen og tidspunkt når ulike målevariabler ble registrert.....	45
Figur 10 Glattet EMG-signal som illustrer signal (amplitude) parametrene EMG_{peak} (uV), EMG_{slope} (uV/sek) og EMG_{area} (uV*sek).....	48
Figur 11 RM i sittende nedtrekk, benkopptrekk og tricepspress før (pre) og etter (post) åtte ukers intervensjonsperiode, hvor vibrasjon- og tradisjonellgruppen trente tung styrketrening. Kontrollgruppen fortsatte sitt vanlige treningsregime uten tung styrketrening. *Forskjell fra pre ($P<0,05$). # Forskjell fra kontrollgruppen i relativ endring fra pre til posttest ($P<0,05$).....	51
Figur 12 Progresjonen i treningsmotstand (kg) gjennom intervensjonen på 6 repetisjoner maksimum (RM) i øvelsene sittende nedtrekk, stakeimitasjon og tricepspress. Det ble ikke trent 6 RM i uke 4-6. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik.	52
Figur 13 Respons under 110 min submaksimal staking på 65% av baseline VO_{2maks} , før (pre) og etter (post) åtte uker med styrketrening. STR variabler illustreres i panelene til venstre og KON i panelene til høyre. *Forskjell fra pre ($p < 0,05$).	56
Figur 14 Relative forandringer (post- mot pre-intervensjon) under 110 min staketesten på 65% av baseline VO_{2maks} . # forskjell fra KON ($P < 0,05$).....	57
Figur 15 Tid til utmattelse (min) på stakemøllen før (pre) og etter (post) åtte uker intervensjon på testdag 1 (øverste panel) og testdag 2 (nederste panel). Panel til venstre viser STR (N= 19) og til høyre viser KON (N= 8). Lys stiplet linjer representerer de ulike individuelle FP sine pre og post verdier. Svart grov stiplet linje illustrerer gjennomsnittet av gruppen. *Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,05$). # tendens til forskjell fra KON ($p = 0,07$).....	60
Figur 16 Data presentert som Peak (øverste panel), Slope (midterste panel) og Area (nederste panel). EMG-verdier normalisert ut i fra 3-4min (%3-4 min). Alle målinger	

ble gjort på m. triceps brachii. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. * Forskjellig fra 3-4 min pretest ($p < 0,05$), #Forskjellig fra 3-4 min posttest ($p < 0,05$)..... 63

Figur 17 Pearson's korrelasjonsanalyse mellom tricepspress, benkopptrekk og TTU under pre testdag 1..... 64

Figur 18 Syklustid (øverste panel), lengde (midterste panel) og frekvens (nederste panel) i STR (panel til venstre) og KON (panel til høyre) under 10, 12 og 14 km/t samt siste fullførte belastning (km/t) under VO_{2maks} med 6% stigning på stakemøllen. * signifikant forskjell fra pre ($p < 0,05$). H_{maks} = siste hele fullførte belastning i makstesten. 67

Figur 19 Relative endringer (post- mot pre-intervensjon) i syklustid (sek), sykluslengde (m) og syklusfrekvens (Hz) under 90 min staketesten. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. * signifikant absolutte forskjell fra pre- til posttest innad i STR og KON ($p < 0,05$). 68

Figur 20 Syklustid (øverste panel), sykluslengde (midterste panel) og syklusfrekvens (nederste panel) i STR (panel til venstre) og KON (panel til høyre) under 10 og 12 km/t samt siste fullførte belastning (km/t) under TTU med 6% stigning på stakemøllen etter 90 min submaksimal staking. * signifikant forskjell fra pre ($p < 0,05$). H_{maks} = siste hele fullførte belastning i makstesten..... 69

Figur 21 Relative endringer (pre vs. pre mot post vs.post intervensjon) i syklustid, sykluslengde, syklusfrekvens og oksygenforbruk (VO_2) ved 12 kmt/t testdag 1 til testdag 2. Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. * signifikant forskjell fra pre vs. pre til post vs. post innad i STR og KON ($p < 0,05$). # tendens til signifikant forskjell pre vs. pre til post vs. post innad i STR og KON ($p < 0,10$). 71

11. Vedlegg

11.1 Forespørsel om deltagelse i forskningsprosjekt - Samtykkeerklæring

11.2 Maksimal styrkeregreringsskjema

11.3 EMG-testprotokoll

11.1 Forespørsel om deltagelse i forskningsprosjekt

- Kartlegging av fysiologiske egenskaper hos skiløpere spesialisert på langløp

Bakgrunn og hensikt med studien:

Langløp i langrenn har fått en stadig økende interesse både nasjonalt og internasjonalt med etableringen av FIS maraton cup og en oppblomstring av private team og langrennsløpere som satser profesjonelt på dette. Noe som karakteriserer disse langløperne er at løpstiden er relativt lang (2,5 - 4 timer) og i flere av rennene gjennomføres store deler av distansen ved hjelp av dobbelttak. Dette fører til at spesialtrening på staking har blitt vanlig blant de som satser på langløp. Siden fokuset på langløp er relativt nytt, har de fysiologiske egenskapene til disse utøverne i liten grad blitt kartlagt. Derfor ønsker vi i denne studien å kartlegge ulike sentrale fysiologiske egenskaper til godt trente langløpsutøvere på ulike prestasjonsnivå. Nylige studier på syklistene indikerer at ved å øke muskelstyrken, så bedres langtidsprestasjonen. Videre er det enkelte observasjoner av at akutt tilføring av vibrasjoner under tung styrketrening kan føre til at man akutt klarer å øke effektutvikling (W). Derfor ønsker vi også at en gruppe av forsøkspersonene gjennomfører en systematisk styrketrening med vibrasjon mens en annen gruppe utfører den samme stakingspesifikke styrketreningen uten vibrasjon. Dette for å studere effekten av økt styrke på langtids utholdenhetsprestasjon.

Dette prosjektet vil være med på å øke kompetansen rundt optimalisering av treningsarbeidet innen langrennsporten. Videre vil vi få en bedre innsikt i hvordan kroppene responderer på langvarig staking under kontrollerte betingelser. Denne kunnskapen er viktig for optimalisering av langrennstreningen. Dette er et spørsmål til deg om å delta i en forskningsstudie for å kartlegge viktige fysiologiske parameter hos langløpsløpere, samt betydning av økt muskelstyrke for disse parameterne. Det betyr da at vi ber om din deltagelse i prosjektet, så fremt du oppfyller kriteriene for deltagelse: Du må være i alderen 18-45 år, trene minimum 8 timer i uken og delta på minimum to langløp i løpet av kommende vinter.

Prosjektet er initiert og ledet av Høgskolen i Lillehammer i samarbeid med personer fra NTNU.

Hva innebærer studien?

Det skal totalt rekrutteres 30 forsøkspersoner i alderen 18-45 år. Samtlige personer skal gjennomføre en testrunde som krever to oppmøter i idrettsfysiologisk testlab ved Høgskolen i Lillehammer og en måling av kroppsmassesammensetning ved hjelp av DEXA på Revmatismesykehuset i Lillehammer. Den første dagen skal det

gjennomføres styrketester av overkroppsmuskulatur, en terskeltest og maksimal oksygenopptakstest i staking. På den andre testdagen gjennomføres det 90 minutters submaksimal staking på en intensitet tilsvarende 2 mmol/L laktat etterfulgt av en repetisjon av laktatprofiltesten og en avsluttende prestasjonstest der arbeidsintensiteten blir gradvis økt helt til utmattelse. Laktat, puls, muskelaktivitet, oksygenering av blodet og oksygenforbruk måles regelmessig under de submaksimale stakingene. Denne testdagen tar ca. 2,5 time. I den andre delen av prosjektet ønsker vi at en gruppe av forsøkspersonene gjennomfører stakingspesifikk styrketrening med eller uten vibrasjon på overkroppen (Tabell 1) og gjennomfører de samme testene etter en ca. 8 ukers treningsperiode. Dette for å studere effektene av endret styrke på de ulike parameterne.

Tabell 1: Oversikt over styrketreningsprogrammet som skal gjennomføres med eller uten vibrasjon

Uke	1-3	Pause	4 -6	Pause	7-8	Pause
Økt 1	3 x 10 RM	2 min	3 x 8 RM	2 min	3 x 6 RM	2 min
Økt 2	3 x 12 90 % RM	1 min	3 x 10 90 % RM	45 sek	3 x 8 90 % RM	2 min
Økt 3	3 x 6 RM	2 min	3 x 5 RM	3 min	4 x 4 RM	3 min

Hva skjer med informasjonen om deg?

Det er helt frivillig å delta i prosjektet og du kan på hvilket som helst tidspunkt trekke deg og kreve personopplysningene som er gitt anonymisert, uten å måtte begrunne dette nærmere. Opplysningene som er innhentet om deg (testresultatene) og informasjonen som registreres om deg skal brukes kun slik som beskrevet i hensikten med studien. Alle opplysningene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennende opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger og prøver gjennom en navneliste. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har

adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg. Forsker er underlagt taushetsplikt og data behandles konfidensielt. All informasjon og prøvene som samles inn slettes senest i 2018. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres. Prosjektet er meldt til Personvernombudet for forskning, Norsk samfunnsvitenskapelig datatjeneste AS. Dataene som fremkommer i studien vil i hovedsak bli benyttet i en vitenskapelig artikkel, men vil også kunne bli presentert på nasjonale og internasjonale konferanser og seminar.

Ved å delta i studien får du testet sentrale prestasjonsbestemmende faktorer.

Samtykkeerklæring:

Jeg har mottatt skriftlig informasjon og er villig til å delta i studien. Jeg er klar over at jeg når som helst og uten å oppgi grunn, kan trekke meg fra prosjektet uten at det gir noen som helst form for konsekvenser.

Jeg, _____, bekrefter at jeg har mottatt både muntlig og skriftlig informasjon og samtykker herved i å delta i prosjektet,

Dato/Sted _____

Forsøksperson

Hvis du vil melde din interesse vennlig kontakt en av oss på telefon eller mail og ta med samtykkeerklæringen på første møte. På forhånd hjertelig takk for at du vil stille opp!

Dersom du ønsker å delta eller har spørsmål til studien, ta kontakt med Bent Rønnestad (prosjektleder): bent.romnestad@hil.no, tlf: 61 28 81 93

Vennlig hilsen

Bent Rønnestad, Førsteamanuensis Idrettsvitenskap, Høgskolen i Lillehammer

- Jeg samtykker til å delta på den første testrunden*
- Jeg samtykker til at delta på både første testrunde og påfølgende styrketreningsperiode*

11.2 Styrkeskjema

PRE/POST

Dato _____

Navn _____

Tid _____

FP nr. _____

Oppvarming:
5 min sykkel
(12-15 Borg)
10 x opphopp
10 x situps
10 x pushups
10 x rygghev
Styrkespesifikk:
10 x 20-30 kg
6 x 30-40 kg

Sittende nedtrekk

	- 1 -	- 2 -	- 3 -	- 4 -	- 5 -	- 6 -
1RM						
Pass/Fail						

Benkopptrekk

	- 1 -	- 2 -	- 3 -	- 4 -	- 5 -	- 6 -
1RM						
Pass/Fail						

Tricepspress

	- 1 -	- 2 -	- 3 -	- 4 -	- 5 -	- 6 -
1RM						
Pass/Fail						

Kommentar:

11.3 EMG – testskjema, langløp stakeprosjekt

Testdato og tid: _____ Vekt: _____ Navn el ID:

EMG Kanaler h.vl: __1/6____, h.latissimus: __2/7____, h.triceps: __3/8____,

EMG Kanaler v.vl__4/10____, v.latissimus:____5/11____, v.triceps:____6/12__

Skinprep: barber, rubb, sprit av. Sikre god impedans

Referanser til elektroder:

Referanse Triceps: 90 grader abduksjon - Posterior angle acromion → til olecranon → rettlinjje + avstand 50 % av lengden → 3 fingersbredder medialt

Avstand rett linje Triceps: _____cm

Tatt avbildning av elektrodene: _____

Protokoll:

90 min submaksimal test: recording hver 8 – 9 min (1 min).

Terskelmåling: recording hver fartsøkning (10, 12, 14 km/t) fra 3 – 4 min (1 min).
Marker på hver hastighetsøkning.

Prestasjon- maks: recording kontinuerlig fra 10 km/t til utmattelse. Marker på hver hastighetsøkning fra 11, 12, 13, 14

Lagre som under testing

New: dato_stak1_pre

Under submaksimal lagre som: submax_3-4min, submax_18-19min, submax_28-29min..osv

Under terskel lagre som: terskel_10km/t_3.30-4.30min, terskel_12km/t_3.30-4.30min, terskel_14km/t_3.30-4.30min

Under prestasjon lagre som: max_test

