

Øyvind Skattebo

Effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen i langrenn

- En 10 uker lang intervensjonsstudie

Masteroppgave i Idrettvitenskap
Seksjon for fysisk prestasjonsevne
Norges Idrettshøgskole, 2014

Sammendrag

Formålet med denne studien var å undersøke effekten av maksimal styrketrening for overkropp på muskelstyrke, arbeidsøkonomi og prestasjonstester av ulik varighet i stakeergometer hos kvinnelige juniorlangrennsløpere.

Seksten aktive kvinnelige langrennsløpere ble rekruttert (17 ± 1 år, 60 ± 6 kg, 169 ± 6 cm, $59,6 \pm 4,5$ ml · kg⁻¹ · min⁻¹) og fordelt til en intervensjonsgruppe (INT; n= 9) og en kontrollgruppe (KON; n= 7). Intervensjonsperioden varte 10 uker på høsten, og bestod av et styrketreningsprogram på overkroppsmuskulatur som INT gjennomførte to ganger i uken i tillegg til sitt vanlige treningsprogram. KON fortsatte med sitt vanlige treningsprogram, og ble instruert til å ikke trene maksimal styrketrening. Det totale treningsvolumet var henholdsvis ~14 og ~13 timer per uke for INT og KON. Før pre- og posttesting ble det gjennomført grundig tilvenning til testene i stakeergometer og til styrketest i øvelsen sittende overtrekk. Testene i stakeergometer var maksimal effektproduksjon over 20 sek (maksimal anaerob effekt), over 3 min i uthvilt tilstand (sprinttest) og over 3 min etter et langvarig submaksimalt arbeid (avsluttest). Arbeidsøkonomi ble målt som oksygen (O₂)- kostnad på submaksimale belastninger. I tillegg ble det maksimale O₂- opptaket i stakeergometer (VO_{2-peak}) og løping (VO_{2-maks}) målt.

Muskelstyrken, målt som 1 repetisjon maksimum, økte signifikant mer i INT sammenlignet med KON (15 ± 8 %; $p < 0,01$; effektstørrelse (ES): 0,90). Endringen i maksimal anaerob effekt og effektproduksjon på sprint- og avsluttesten var tilsvarende for INT og KON. VO_{2-maks} og VO_{2-peak} endret seg med en liten negativ effektstørrelse i INT sammenlignet med KON (ES: -0,32 til -0,42). Det var liten til ubetydelig (ES: -0,31 til -0,18) forskjell mellom gruppene i endring av O₂- kostnad på submaksimale belastninger i favør av INT (størst reduksjon), men forskjellen var ikke statistisk signifikant.

Maksimal styrketrening på overkropp gav økt maksimal styrke i en gruppe kvinnelige juniorlangrennsløpere sammenlignet med en kontrollgruppe, der begge gruppene forøvrig gjennomførte et høyt volum av kondisjonstrening. Økningen i muskelstyrke hadde imidlertid ubetydelig effekt på prestasjonstester av kort varighet, og kun liten til ubetydelig effekt på arbeidsøkonomi og maksimalt oksygenopptak i staking.

Forkortelser:

Forkortelse	Betegnelse
1 RM	En repetisjon maksimum
W	Effekt (watt) ($\text{joule} \cdot \text{sek}^{-1}$)
N	Kraft (newton)
$\text{VO}_{2\text{-maks}}$	Det maksimale oksygenopptaket
$\text{VO}_{2\text{-peak}}$	Høyeste oksygenopptak målt i staking
O_2	Oksygen
Σ	Akkumulert
GE	Gross efficiency (mekanisk effektivitet)
V1	Skøyteteknikken padling
V2	Skøyteteknikken dobbeldans
TT	Time trial (distanse)
TTU	Tid til utmattelse

Begrepsavklaring:

I denne oppgaven brukes begrepet kondisjon synonymt med $\text{VO}_{2\text{-maks}}$. Kondisjonsidretter er dermed idretter som stiller store krav til $\text{VO}_{2\text{-maks}}$. Utholdenhet defineres som evnen til å opprettholde prestasjon over tid. Et individ med god utholdenhet har dermed et lavt prestasjonsfall fra start til slutt i en konkurranse. Idretten langrenn stiller store krav til både høy kondisjon og evnen til å motstå prestasjonsfall gjennom konkurransen, altså god utholdenhet. Langrenn regnes dermed både som en utholdenhet- og kondisjonskrevende idrett. Hos langrennsløpere vil kondisjonstreningen også påvirke utholdenheten og motsatt. Dermed brukes begrepene kondisjon- og utholdenhetstrening i langrenn om hverandre i denne oppgaven.

Forord

Som i alle andre prosjekter vil ikke sluttresultatet kunne tilskrives en manns arbeid. Det er mange som fortjener en stor takk for all hjelp jeg har fått frem til veis ende.

Først og fremst vil jeg takke min hovedveileder Thomas Losnegard. Uten din hjelp og ditt engasjement hadde denne oppgaven aldri sett lyset. Oppgaven startet med din idé, og som vi utviklet i samarbeid til dette sluttresultatet. Takk for all hjelp under planleggingsfasen, gjennomføringen og sist, men ikke minst all konstruktiv kritikk gjennom skriveprosessen. Den har absolutt vært uvurderlig!

Takk til Jostein Hallén for alle gode diskusjoner og innspill underveis. Tillitten du har vist meg det siste året har betydd ekstremt mye!

Takk til Bent Ronny Rønnestad. Det er alltid godt å ha med kunnskapsrike personer på laget. Og ikke minst takk for all læring gjennom de tre årene på Lillehammer!

Takk til Svein Leirstein for opplæring i laboratorietesting, og takk til Joar Hansen for et godt samarbeid på HiL.

Takk til Emilie Kristoffersen, Jørgen Eikås og Mikael B. Gransjøen for all hjelp på treningsøktene under intervensjonsperioden og assistering under testing!

Takk til alle trenerne på NTG- Lillehammer. Dere har vist en særdeles stor imøtekommenhet og interesse i prosjektet. Uten dere hadde prosjektet vært umulig å gjennomføre.

Og sist, men ikke minst: takk til alle deltakerne som var med i prosjektet! Dere er en særdeles sprek gjeng og har vist forbløffende gode testresultater. Jeg er helt sikker på at flere av dere kommer til å nå til topps, og jeg gleder meg til å følge med på utviklingen deres videre.

Øyvind Skattebo

Oslo, mai 2014

Innhold

1. INNLEDNING	9
1.1 Problemstilling	9
2. TEORI	11
2.1 Prestasjonsbestemmende faktorer for kondisjonsidretter	11
2.1.1 Maksimalt oksygenopptak	11
2.1.2 Utnyttelsesgrad og laktatterskel	12
2.1.3 Arbeidsøkonomi	12
2.1.4 Anaerob kapasitet	13
2.1.5 Maksimal anaerob effekt	14
2.2 Karakteristikk ved langrenn	14
2.2.1 Viktige faktorer for prestasjonen i distanselangrenn	14
2.2.2 Viktige faktorer for prestasjonen i sprintlangrenn	15
2.2.3 Muskelbruk i klassisk	16
2.2.4 Kroppsvekt og kroppssammensetting i langrenn	18
2.2.5 Kjønnforskjeller	18
2.3 Bestemmende faktorer for muskelstyrke	19
2.4 Adaptasjoner til styrketrening	20
2.4.1 Nevrologiske adaptasjoner	20
2.4.2 Muskulære adaptasjoner	20
2.5 Hvordan øke muskelstyrke?	21
2.6 Effekten av samtidig kondisjon- og styrketrening på styrke	22
2.7 Kan styrketrening påvirke prestasjonen i kondisjonsidretter?	22
2.7.1 Maksimalt oksygenopptak	23
2.7.2 Utnyttelsesgrad og laktatterskel	23
2.7.3 Oksygenkostnad	23
2.7.4 Anaerob kapasitet	24
2.7.5 Effekten av styrketrening på prestasjon	24
2.7.6 Underliggende mekanismer: muskulatur og biomekanikk	25
2.8 Samtidig styrke- og kondisjonstrening hos langrennsløpere	25
3. METODE	31
3.1 Deltakere	31
3.2 Eksperimentelt design	31
3.3 Testprosedyrer	33
3.3.1 Tilvenning	33
3.3.2 Maksimal styrketest	34
3.3.3 Maksimalt oksygenopptak løping	34
3.3.4 Stakeergometertester	36
3.3.5 Omkrets overarm	38
3.4 Treningen	39
3.5 Statistiske metoder	40

4. RESULTATER.....	41
4.1 Treningsvolum	41
4.2 Maksimal styrke	42
4.3 Overarmomkrets og kroppsvekt	43
4.4 Effektproduksjon staking	44
4.5 Maksimalt oksygenopptak.....	45
4.6 Anaerob kapasitet	46
4.7 Oksygenkostnad stakeergometer	47
4.8 Sammenhenger	48
4.8.1 1 RM sittende overtrekk og prestasjon staking	48
4.8.2 1 RM sittende overtrekk og armomkrets.....	49
4.8.3 1 RM sittende overtrekk og oksygenkostnad i staking	49
4.8.4 Prestasjon og ergospirometriveriabler	50
4.8.5 Kroppsvekt.....	51
4.8.6 Multipl lineær regresjon for prediksjon av prestasjon.....	51
5. DISKUSJON.....	53
5.1 Sammenheng mellom prestasjon og styrke	53
5.2 Endring i styrke og overarmomkrets	53
5.3 Effekten av styrketrening på prestasjon	55
5.4 Endring av maksimal anaerob effekt.....	59
5.5 Kinematikk prestasjonstester.....	59
5.6 Maksimalt oksygenopptak.....	60
5.7 Oksygenkostnad	61
5.8 Anaerob kapasitet	64
5.9 Sammenhenger	64
5.10 Begrensninger ved studien	66
6. KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	67
REFERANSER.....	68
TABELLOVERSIKT.....	82
FIGUROVERSIKT	83
VEDLEGG	

1. Innledning

De siste to tiårene har det forekommet stor utvikling i langrennssporten. Innføringen av sprint (sesongen 1996/ 1997), flere fellesstarter, samt bedre løypepreparering og utstyr har endret arbeidskravene. I VM og OL kan fem av seks øvelser kategoriseres som fellesstarter. Som en konsekvens har kravet til maksimal styrke, anaerob effekt og anaerob kapasitet økt (Stöggl, Lindinger, & Müller, 2007a, 2007b). Det er funnet høye til nesten perfekte korrelasjoner mellom evnen til å generere stor kraft i overkroppen og prestasjon på staketester av ulik varighet på rulleski og stakeergometer (Losnegard et al., 2011; Stöggl et al., 2007b). I Losnegard et al. (2011) var sammenhengen mellom 1 RM i sittende overtrekk og prestasjon i staking bedre hos kvinner enn hos menn. Siden kvinnene også var svakest ble det argumentert for at de potensielt kunne forbedre prestasjonen ved å øke muskelstyrken. Sandbakk, Ettema, og Holmberg (2014) fant at kjønnsforskjellen mellom menn og kvinner var større i staking sammenlignet med løping. Økt overkroppsstyrke kan dermed potensielt forbedre prestasjonen i langrenn, spesielt i staking hos kvinner.

Effekten av styrketrening på langrennsløpere er imidlertid uklar. Det er både funnet (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, & Häkkinen, 2007; Østeras, Helgerud, & Hoff, 2002) og ikke funnet (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, Losnegard, Kvamme, & Raastad, 2012) forbedret arbeidsøkonomi som følge av styrketrening. Økt maksimal styrke har resultert i økt tid til utmattelse i stakeergometer (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Hoff, Helgerud, & Wisloff, 1999; Østeras et al., 2002), økt effektproduksjon på en 5 min lang stakeergometertest (Losnegard et al., 2011) og redusert tid på 30 m staking på rulleski (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007). Det er imidlertid ikke funnet redusert tid på skøyte og stakedistanser (1,1- 7,5 km), samt 100 meter skøyting på rulleski som en følge styrketrening (Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012). De sprikende funnene tilsier et behov for flere studier for å klargjøre effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen i langrenn.

1.1 Problemstilling

Vil addering av maksimal styrketrening til et høyt volum av kondisjonstrening påvirke muskelstyrken og muskelvolum, prestasjonstester av kort varighet, O₂-kostnad, maksimalt oksygenopptak, anaerob kapasitet og kinematikk i staking hos kvinnelige juniorlangrennsløpere?

2. Teori

2.1 Prestasjonsbestemmende faktorer for kondisjonsidretter

Hastigheten i kondisjonsidretter bestemmes av total energiomsetning og hvor effektivt energien overføres til ytre mekanisk arbeid (arbeidsøkonomi) (Capelli, 1999; di Prampero, 2003; Joyner & Coyle, 2008). Arbeidsøkonomien kan beskrives som energikostnaden for å tilbakelegge en gitt distanse, og hastigheten kan dermed beskrives med ligningen under:

$$\text{Hastighet (m} \cdot \text{s}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Energiomsetning (J} \cdot \text{s}^{-1}\text{)}}{\text{Energi kostnad (J} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}}$$

Energiomsetningen påvirkes av organismens maksimale evne til å ta opp og omsette oksygen ($\text{VO}_{2\text{-maks}}$) ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), hvor stor andel av $\text{VO}_{2\text{-maks}}$ som utnyttes over en gitt varighet (utnyttelsesgrad; %) og anaerob energiomsetning. Anaerob energiomsetning kan presenteres som anaerob kapasitet, målt som $\sum \text{O}_2$ -underskudd ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}$), fordelt på konkurransens varighet. Prestasjonen i konkurranser kan forenklet beskrives med nevnte variabler delt på O_2 -kostnaden for bevegelsesformen ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) (Losnegard, 2013). Ligningen under angir hvor mange meter som blir tilbakelagt i minuttet, og kan deretter omskrives til tidsbruk (min) ved en gitt distanse (m) ved å dele distansen på produktet av ligningen.

$$\text{Prestasjon (m} \cdot \text{min}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{VO}_{2\text{-maks}} \cdot \text{utnyttelsesgrad}) + \sum \text{O}_2\text{-underskudd}}{\text{Oksygenkostnad}}$$

2.1.1 Maksimalt oksygenopptak

Det maksimale oksygenopptaket setter en øvre grense for den aerobe energiomsetningen per tidsenhet (Bassett & Howley, 2000; A. M. Jones & Carter, 2000). O_2 -opptaket kan beskrives med Fick's ligning og er produktet av hjertets minuttvolum (Q (slagvolum \cdot hjertefrekvens)) og forskjellen i blodets oksygeninnhold mellom arterie og vene ($A-V$ - O_2 differanse).

$$\text{O}_2\text{-opptak: } Q \cdot (A-V\text{-O}_2\text{ differanse})$$

Man finner ofte god sammenheng mellom prestasjon i kondisjonsidretter og $\text{VO}_{2\text{-maks}}$, spesielt i heterogene grupper (Bassett & Howley, 1997, 2000). $\text{VO}_{2\text{-maks}}$ bestemmes av

sentrale og perifere faktorer. De sentrale faktorene bestemmer hvor mye oksygen som blir distribuert til arbeidende muskulatur og er bl.a. hjertets slagvolum, blodvolum, hemoglobinkonsentrasjon i blodet og lungens diffusjonskapasitet. De perifere faktorene er muskulaturens evne til å ta opp og omsette oksygenet som blir distribuert. Og inkluderer faktorer som kapillarisering, volumet av muskelmasse involvert i arbeidet, mitokondrietetthet og konsentrasjon av aerobe enzymer (Bassett & Howley, 2000).

2.1.2 Utnyttelsesgrad og laktatterskel

Under maksimale anstrengelser vil aerob energiomsetning bestemmes av flere variabler enn kun $VO_{2\text{-maks}}$, siden man kun klarer å opprettholde en arbeidsbelastning tilsvarende $VO_{2\text{-maks}}$ i ~6- 10 min (Hallén, 2002). O_2 - opptaket over en gitt distanse eller varighet omtaler vi som utnyttelsesgraden og oppgis i prosent av $VO_{2\text{-maks}}$ (Åstrand & Rodahl, 2003). Utnyttelsesgraden reduseres ved økende konkurransevarighet, kan variere mye mellom individer og påvirker prestasjonen i økende grad ved økende konkurransevarighet (Coetzer et al., 1993; Davies & Thompson, 1979).

Laktatterskel kan defineres som den høyeste belastningen hvor det er likevekt mellom produksjonen og eliminasjon av laktat (La^-) (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009). Høyere belastninger vil ved definisjon medføre akkumulering av La^- i blodbanen, samt øke konsentrasjonen av hydrogenprotoner, innorganisk fosfat og La^{-1} i muskelvevet (Fitts, 1994; H. J. Green, Hughson, Orr, & Ranney, 1983). En økning av disse metabolittene er relatert til utmattelse (Fitts, 1994), og således vil laktatterskel være avgjørende for arbeidsbelastningen i konkurranser (A. M. Jones & Carter, 2000).

2.1.3 Arbeidsøkonomi

Den mekaniske effektiviteten ved bevegelse varierer fra ~5- 30 % og påvirkes av bevegelsesform, belastning og individuell variasjon (Perrault, 2006; Saunders, Pyne, Telford, & Hawley, 2004). O_2 - kostnad er en av de mest benyttede metodene for å oppgi arbeidsøkonomi, og er O_2 - forbruket på en gitt belastning, hastighet eller over en gitt distanse (Bassett & Howley, 2000).

Valide målinger av O_2 - kostnad krever stabilisering av O_2 - opptaket ("steady state"), og forekommer etter ~3 min på lave arbeidsbelastninger (Whipp & Wasserman, 1972).

Sammenhengen mellom O_2 - kostnad og belastning er lineær under laktatterskel (Bassett &

Howley, 2000; Noordhof, de Koning, & Foster, 2010). Det er derimot omdiskutert hvor god linearitet det er for høyere belastninger (Noordhof et al., 2010). For belastninger over laktatterskel kan man ofte se forsinket "steady state" og økning av O_2 - opptaket utover på belastningen. Økningen omtales som "VO₂ slow component" (A. M. Jones et al., 2011) og gjør det vanskelig å kvantifisere O_2 - kostnad på belastninger over laktatterskel. Årsaken til "VO₂ slow component" kan bl.a. skyldes redusert mekanisk effektivitet i muskelfibrene, som følge av trøtthet. For å opprettholde kraftproduksjonen kan det antas at det forekommer rekruttering av flere muskelfibre høyere i rekrutteringshierarkiet. Disse har ofte lavere mekanisk effektivitet og øker O_2 - forbruket på belastningen (A. M. Jones et al., 2011).

2.1.4 Anaerob kapasitet

Anaerob energiomsetning produserer energi uten forbruk av O_2 (anaer= uten luft). Ved igangsettelsen av fysisk aktivitet vil anaerobe energikilder bidra i stor grad til den totale energiomsetningen, frem til O_2 - opptaket når O_2 - kravet på belastningen (Hargreaves, 2000). For lave belastninger benyttes de anaerobe energireservene i liten grad, men for belastninger over laktatterskel vil suppleringen med anaerobe energireserver øke proporsjonalt (Reybrouck, Defoor, Bijmens, Mertens, & Gewillig, 2003).

Summen av anaerobe energireserver omtales som den anaerobe kapasiteten og deles inn i laktiske og alaktiske reserver. Den glykolytiske produksjonen av adenosintrifosfat (ATP) ved dannelsen av La^- utgjør den laktiske komponenten. Den alaktiske komponenten består av nedbrytingen av de høyenergetiske fosfatene ATP og kreatinfosfat (CrP) (S. Green & Dawson, 1993). ATP konsentrasjonen holdes noenlunde stabil i en arbeidende muskel. Derfor vil summen av den maksimale mengden La^- som kan akkumuleres i muskulatur og kroppsvæsker, samt den maksimale mengden CrP som kan hydrolyseres utgjøre den anaerobe kapasiteten (di Prampero, 2003). Anaerob kapasitet vil dermed være avhengig av muskelvolumet involvert i arbeidet (Bangsbo et al., 1990; Bangsbo, Michalsik, & Petersen, 1993; Olesen, 1992; Perez-Gomez et al., 2008). Den laktiske og alaktiske komponenten er estimert til å utgjøre henholdsvis 80 % og 20 % av den totale anaerobe kapasiteten (Bangsbo et al., 1990). Anaerobe energireserver er blitt funnet å tilsvare ett O_2 - opptak på 30- 90 ml · kg⁻¹ målt som $\sum O_2$ - underskudd ved løping på tredemølle (Bangsbo et al., 1993; Medbø et al., 1988).

2.1.5 Maksimal anaerob effekt

Prestasjonen i kortvarige eller langvarige konkurranser hvor resultatet avgjøres ved en sluttspurt, avhenger av kroppens evne til å øke kraftutviklingen raskt. Hvor mye kraft man produserer på en gitt tid er effekt og kan oppgis i watt ($W (J \cdot s^{-1})$). Maksimal anaerob effekt avhenger av den neurale aktiveringen av muskulaturen, muskelstyrken, kvalitative egenskaper i muskelen og overføring av muskelkraft til ytre mekanisk arbeid (Jung, 2003).

2.2 Karakteristikker ved langrenn

Idretten langrenn er meget sammensatt, og de ulike konkurranseformene har ulike krav (Losnegard & Hallén, 2014b). Dette utfordrer utøverne til å trene allsidig. Treningsvolumet hos de beste langrennsløperne er meget høyt, og det er ikke uvanlig at de trener opp mot 80- 90 timer i måneden, med gradvis reduksjon mot konkurransesesongen (Losnegard, Myklebust, Spencer, & Hallén, 2013).

2.2.1 Viktige faktorer for prestasjonen i distanselangrenn

Langrennsløpere i verdenseliten har vist seg å være blant kondisjonsutøverne med høyest $VO_{2\text{-maks}}$. Det er rapportert verdier opp mot henholdsvis 90 og 80 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ for menn og kvinner målt ved løping (Ingjer, 1991, 1992; Losnegard et al., 2013; Sandbakk, Welde, & Holmberg, 2011). Langrennsløpere har noe høyere $VO_{2\text{-maks}}$ i diagonalgang sammenlignet med løping (Holmberg, Rosdahl, & Svedenhag, 2007; Strømme, Ingjer, & Meen, 1977), men noe lavere i skøyteteknikkene (Losnegard & Hallén, 2014a). I staking er verdiene ~10- 15 % lavere enn i løping og diagonalgang (Holmberg et al., 2007; Sandbakk et al., 2014).

Korrelasjonsanalyser indikerer at $VO_{2\text{-maks}}$ er meget avgjørende for prestasjonen i distanselangrenn (Carlsson et al., 2012; Ingjer, 1991; Larsson & Henriksson-Larsen, 2005; Mahood, Kenefick, Kertzer, & Quinn, 2001). Det er bl.a. funnet god korrelasjon mellom FIS distanse poeng og $VO_{2\text{-maks}}$ i V2 skøyteteknikk (Losnegard, 2013). Det er også funnet høye til veldig høye korrelasjoner mellom ulike prestasjonstester og arbeidsøkonomi (Mahood et al., 2001; G. P. Millet, Boissiere, & Candau, 2003; G. Y. Millet, Perrey, Candau, & Rouillon, 2002).

Historisk sett har langrennskonkurranser vært av lang varighet og med intervallstarter. I sesongen 2012- 2013 ble imidlertid 68 % av distanseløpene i verdenscupen gjennomført

som fellesstart eller jaktstart (FIS, 2012). Disse konkurranseformene og sprint har uten tvil økt fokuset på å holde høye hastigheter. Som et resultat har betydningen av høy kraft- og effektproduksjon på prestasjon blitt et forskningsområde i langrenn. Det er funnet veldig høye ($r \geq 0,7$) til nesten perfekte ($r \geq 0,9$) korrelasjoner mellom overkroppsmuskulaturens evne til å produsere høy kraft og effekt og prestasjonen på staketester med varighet mellom ~10 sek og 5 min (Losnegard et al., 2011; Stöggl et al., 2007b). Det er også funnet nesten perfekte korrelasjoner mellom effektproduksjonen i stakeergometer over 10 og 60 sek og prestasjon på 10 km klassisk distanse (Alsobrook & Heil, 2009).

Kraftoverføringen gjennom stavene står naturlig nok for fremdriften i staking (Bojsen-Møller et al., 2010; Lindinger, Holmberg, Müller, & Rapp, 2009), men står også for stor andel av fremdriften i skøyting (G. Y. Millet, Hoffman, Candau, & Clifford, 1998; Sandbakk, Ettema, & Holmberg, 2013; Smith, 1992). Mahood et al. (2001) fant at tid på en ~1 km staketest predikerte prestasjonen på 10 km skøytetdistanse og rankingen i løp den påfølgende sesongen bedre enn $VO_{2\text{-maks}}$, O_2 -kostnad og laktatterskel i skøyting. Viktigheten av høy kraftutvikling gjennom stavene på prestasjon underbygges også i andre studier (Rundell & Bacharach, 1995; Staib, Im, Caldwell, & Rundell, 2000).

2.2.2 Viktige faktorer for prestasjonen i sprintlangrenn

De tidligere tverrsnittstudiene som har indikert at $VO_{2\text{-maks}}$ er meget avgjørende for prestasjonen i langrenn har benyttet seg av prestasjonsmål rettet mot distanselangrenn. Det er imidlertid også funnet veldig høy signifikant korrelasjon mellom prestasjon i simulert sprintkonkurranse og $VO_{2\text{-maks}}$ (Sandbakk, Holmberg, Leirdal, & Ettema, 2011). Denne sammenhengen ble derimot ikke påvist i Stöggl et al. (2007a) og det er noe uklare funn i Losnegard, Myklebust, og Hallén (2012).

Sprintkonkurranser varer kun ~2- 4 min. Dermed vil anaerob kapasitet være viktig for prestasjonen (Losnegard et al., 2012). Det er også funnet gode sammenhenger mellom sprintprestasjon og evnen til å produsere høy kraft og effekt, samt holde høye hastigheter (Mikkola, Laaksonen, Holmberg, Vesterinen, & Nummela, 2010; Sandbakk, Holmberg, et al., 2011; Stöggl et al., 2007a, 2007b).

Selv om Losnegard et al. (2012) kun fant lave til moderate korrelasjoner mellom simulert sprintprestasjon og O_2 -kostnad er det funnet bedre sammenhenger i andre studier.

Sandbakk, Ettema, Leirdal, Jakobsen, og Holmberg (2011) fant veldig høye korrelasjoner mellom gross efficiency (GE) og simulert sprintprestasjon. Det er også funnet høyere GE hos norske langrennsløpere som konkurrerte i verdenscup sammenlignet med de på nasjonalt nivå (Sandbakk, Holmberg, et al., 2011). Dette indikerer at god arbeidsøkonomi også kan være viktig for å prestere i sprintlangrenn.

2.2.3 Muskelbruk i klassisk

I klassisk har vi tre underteknikker. Staking foretrekkes i flatt terreng og når farten er høy, og langrennsløperne går over til dobbelttak med fraspark og deretter diagonalgang når stigningen øker (Pellegrini et al., 2013). Holmberg, Lindinger, Stöggl, Eitzlmair, og Müller (2005) målte kreftene produsert gjennom stavene med deformasjonsmålere, plantarkrefter via soler i skoene og vinkelendringer via goniometre i staking. De kombinerte disse dataene med elektromyografi (EMG) for å vurdere muskelbruk ved 85 % av maksimal hastighet. Forskergruppen fant logisk nok stor aktivering av muskulatur og store vinkelendringer i overkropp. Men det ble også funnet store vinkelendringer i hofte- og kneledd, høye plantarkrefter gjennom føttene og høy EMG aktivitet i underkroppsmuskulatur. Underkroppen bidrog signifikant under en stakesyklus, spesielt ved å skape stabilitet gjennom bevegelsen, men også for å heve tyngdepunktet for å skape potensiell energi. Det ble konkludert med at staking var mer enn bare overkroppsarbeid (Holmberg et al., 2005).

Bojsen-Møller et al. (2010) undersøkte i hvor stor grad ulike muskelgrupper ble aktivert i staking (stakeergometer) på to forskjellige belastninger (53 og 74 % av $VO_{2\text{-peak}}$). Det ble benyttet positron emission tomography (PET) som kan spore gammastråling. Ved å injisere en spesiell glukose- analog med en svak radioaktiv isotop, var det mulig å semi-kvantifisere opptaket av denne glukose- analogen og indikere energiomsetningen i muskelvevet. Musklene rundt albueleddet, skuldrene, buken og hoftefleksorene var mest aktive under stakebevegelsen på den laveste belastningen. Imidlertid ble det ikke funnet noen signifikant økning i glukoseopptaket i mesteparten av overkroppsmuskulaturen når belastningen økte. Faktisk forekom den største økningen i kneekstensorene, knefleksorene, bukmuskulaturen og muskulaturen rundt ryggsøylen. Bojsen-Møller et al. (2010) konkluderte med at overkroppsmuskulatur var hovedbidragsyteren til kraftproduksjonen i staking, men at muskulatur rundt kneledd, hofteledd og ryggsøylen ble involvert i økende grad ved økende belastning.

PET- metoden har imidlertid svakheter, siden den er semi- kvantitativ og ikke tar høyde for omsetningen av glykogen, intramuskulære triacylglyseroler, frie fettsyrer og laktat fra blodbanen. I en nylig studie av Rud, Secher, Nilsson, Smith, og Hallén (2013) ble energiomsetningen i arm- og beinmuskulatur undersøkt ved å studere A- V- O₂- differanse. Sammen med blodstrøm, målt med thermodilution, ble energiomsetningen regnet ut på to belastninger i et stakerometer (~54 og ~76 % av VO_{2-peak}). Når belastningen økte, økte O₂- opptaket i armene med 20 % som en følge av økt blodstrøm, mens O₂- ekstraksjonen var den samme. O₂- opptaket i beinmuskulaturen økte med 53 %, som følge av økt blodstrøm og økt O₂- ekstraksjon. O₂- ekstraksjonen var høyere i beinmuskulatur sammenlignet med armmuskulatur, og samsvarer med andre studier (Björklund, Stöggl, & Holmberg, 2010; Calbet et al., 2005; Stöggl, Björklund, & Holmberg, 2013). Den lavere O₂- ekstraksjonen og økningen i blodstrøm indikerer lavere kapasitet til å øke den aerobe energiomsetningen i arm- sammenlignet med beinmuskulatur i staking (Rud et al., 2013). Dette gjenspeiles også i høyere anaerob energiomsetning i arm- sammenlignet med beinmuskulatur i staking, indikert av kontinuerlig La⁻ frigjøring fra armmuskulatur til blodbanen og opptak av beinmuskulatur (Rud et al., 2013; Stöggl et al., 2013; Van Hall et al., 2003). Overkroppsmuskulatur arbeider altså på allerede høy belastning på lette til moderate helkroppslige submaksimale belastninger i staking. Og for å øke arbeidsbelastningen må beina aktiveres i større grad.

I diagonalgang brukes generelt beinmuskulatur mer og armmuskulatur i mindre grad enn ved staking. O₂- forbruket i armmuskulatur er likevel betydelig (Calbet et al., 2005), og mye av kraftproduksjonen i diagonalgang overføres til underlaget via stavene (Björklund et al., 2010; Pellegrini, Bortolan, & Schena, 2011; Pellegrini et al., 2013). Denne kraften er dog lavere enn ved både staking og dobbelttak med fraspark (Pellegrini et al., 2013). I dobbelttak med fraspark er kreftene overført gjennom stavene lave i forhold til gjennom beina. Ved økende hastighet ser man imidlertid større økning i toppkraft gjennom stavene sammenlignet med frasparket. Det kan dermed se ut til at overkroppsmuskulatur er av større betydning i denne teknikken ved de høyeste hastighetene (Göpfert, Holmberg, Stöggl, Müller, & Lindinger, 2013). Krefter målt via deformasjonsmålere i staver og ski kan imidlertid ikke direkte overføres til fremdriftskrefter. Krefter gjennom ski vil alltid være større enn krefter gjennom staver, på grunn av kroppsmassens gravitasjon- og akselrasjonskrefter. I studiene ovenfor var det kun Pellegrini et al. (2011) som regnet om

vertikal kraft til fremdriftskraft. Kreftene gjennom stavene stod for 25- 28 % av fremdriftskraften i diagonalgang ved ulike stigninger.

2.2.4 Kroppsvekt og kroppssammensetting i langrenn

Siden kroppsmassen skal forflyttes så raskt som mulig fra A til B og siden arbeidet som gjennomføres blir større når en større masse skal forflyttes vil prestasjonen i langrenn antas å avhenge av kroppsvekten. Niinimaa, Dyon, og Shephard (1978) fant at estimert fettprosent korrelerte negativt med nivået på utøverne, men de fant ingen sammenheng mellom kroppsvekt, fettfri masse og prestasjon. Larsson og Henriksson-Larsen (2008) fant derimot at tid på 5,6 km skøytedistanse hadde veldig høy negativ korrelasjon med kroppsvekt og fettfri masse (de med høyest kroppsvekt var raskest). Fettprosent hadde derimot høy positiv korrelasjon med løpstid. Det var spesielt i motbakkene at høy fettprosent var negativt for prestasjon. Larsson og Henriksson-Larsen (2008) mente årsaken til at høy kroppsvekt ikke var negativt for total løpstid og tid i motbakkepartiene, var at de med høy kroppsvekt også hadde høy fettfri masse. Flere studier har dermed argumentert for at høy kroppsvekt ikke er negativt for prestasjon i langrenn, så lenge fettfri masse er høy og fettmassen er lav (Bergh, 1987; Bergh & Forsberg, 1992; Larsson, Olofsson, Jakobsson, Burlin, & Henriksson-Larsen, 2002; Stöggl, Enqvist, Müller, & Holmberg, 2010).

Kravene til kroppsvekt kan imidlertid være forskjellig om man spesialiserer seg i sprint- eller distanselangrenn. Losnegard og Hallén (2014b) fant at sprintlangrennsløpere hadde høyere kroppsvekt, høyde og kroppsmasseindeks enn distanseløpere på internasjonalt høyt nivå. Sprinterne hadde også høyere $VO_{2\text{-maks}}$ oppgitt i absolutte verdier ($L \cdot \text{min}^{-1}$), men lavere verdier standardisert for kroppsvekt ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$). Sammenligner man de ti beste sprint- og distanseløperne fra sammenlagtlistene i verdenscupen fra 2011- 2014, er det også her gjennomgående at sprinterne både er høyere og tyngre enn distanseløperne. Disse funnene er ikke noe direkte bevis, men gir likevel gode indikasjoner på at kravene er noe forskjellige i sprint- og distanselangrenn.

2.2.5 Kjønnforskjeller

Faktorene for å prestere optimalt i langrenn vil i stor grad være de samme for menn og kvinner. Mesteparten av forskningen presentert ovenfor er imidlertid gjennomført på menn og det er noe mangelfull dokumentasjon hos kvinner. Sandbakk, Ettema, Leirdal, og Holmberg (2012) undersøkte kjønnforskjeller blant sprintlangrennsløpere i V2

skøyteteknikk. De målte bl.a. mekanisk effektivitet, $VO_{2\text{-maks}}$ og topphastighet på en trinnvis protokoll som ledet til utmattelse på ~60- 100 sek. De fant 17 % høyere topphastighet hos mennene, men standardisert for fettfri masse var kjønnsforskjellen 9 %. Mekaniske effektivitet og relativ O_2 - kostnad ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) på samme belastning var lik for menn og kvinner. Absolutt O_2 - kostnad ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) var imidlertid høyere for mennene pga. forflyttingen av en større kroppsmasse. Mennene hadde 14 % og 7 % høyere $VO_{2\text{-maks}}$ standardisert for henholdsvis kroppsvekt og fettfri masse, noe som resulterte i en lengre TTU på $VO_{2\text{-maks}}$ - testen. Sandbakk et al. (2012) mente den resterende kjønnsforskjellen i $VO_{2\text{-maks}}$ i stor grad kunne forklares med 10 % forskjell i hemoglobinkonsentrasjon (~13,5 og ~15,0 $\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$ for henholdsvis kvinner og menn). For videre å undersøke kjønnsforskjeller ble de samme utøverne testet i flere bevegelsesformer (Sandbakk et al., 2014). Bevegelsesformene var staking, skøyting (V2), diagonalgang og løping. Kjønnsforskjellen målt som topphastighet under de ulike bevegelsesformene var henholdsvis ~20, ~17, ~14 og ~12 % (høyere hastighet hos mennene). Forskjellene var altså størst for bevegelsesformene som stilte store krav til kraftoverføring gjennom stavene. I tillegg hadde mennene en høyere $VO_{2\text{-peak}}$ staking relativt til $VO_{2\text{-maks}}$ løping sammenlignet med kvinnene (henholdsvis 89 % og 86 %) (Sandbakk et al., 2012).

Det er også identifisert kjønnsforskjeller i mer idrettsspesifikke situasjoner. De kvinnelige vinnerne av prologene i verdenscupløp i sprint fra 2000- 2008 hadde ~10 % lavere gjennomsnittshastighet enn mennene (Stöggl, Stöggl, & Müller, 2009). Kjønnsforskjellen mellom de 10 raskeste kvinnene og mennene på prologene har også økt fra 2010- 2012 (12 → 16 %), noe som potensielt kan forklares med økt spesialisering mot sprintkonkurranser hos menn (Sandbakk et al., 2012).

2.3 Bestemmende faktorer for muskelstyrke

Muskelstyrke kan defineres som "den maksimale kraften eller det dreiemoment en muskel eller muskelgruppe kan skape ved en spesifikk eller forutbestemt hastighet" (Raastad, Paulsen, Refsnes, Rønnestad, & Wisnes, 2010, s. 13, hentet og oversatt fra Knuttgen & Kraemer, 1987), og bestemmes av en rekke muskulære og nevrologiske faktorer. De muskulære faktorene kan grovt sett sammenfattes til muskelens tverrsnittareal, fibertypesammensetting, muskellengde, konsentrasjon av kontraktile proteiner og biomekaniske forhold. De nevrologiske faktorene er aktiveringen og koordineringen av de

ulike muskelgruppene, hvor aktiveringen avhenger av antall motoriske enheter rekruttert og fyringsfrekvensen av dem (Raastad et al., 2010).

2.4 Adaptasjoner til styrketrening

Når utrente begynner med styrketrening vil man raskt se økning i muskelstyrken. Det er imidlertid vanskelig å detektere forandring i muskelmasse i denne perioden. Man finner også stort misforhold mellom endring i muskelstyrke (~1 % per økt) og muskelvekst (~0,1-0,5 % per økt) i denne fasen (Raastad et al., 2010, adaptert fra Kraemer et al., 2002 og Wernbom, Augustsson & Thomeé, 2007). Den tidlige adaptasjonen til styrketrening kan i stor grad forklares med nevrologiske adaptasjoner, men hvor videre økning i muskelstyrke blir mer og mer avhengig av akkumulering av muskelmasse (Häkkinen et al., 1998; Van Cutsem, Duchateau, & Hainaut, 1998). I nyere forskning er det derimot påvist økt muskeltverrsnittareal allerede etter 3 uker med styrketrening (Seynnes, de Boer, & Narici, 2007). De mest evidente adaptasjonene ved styrketrening regnes å være økning av muskeltverrsnitt, muskelfibertypeoverganger og nevrologiske adaptasjoner (Folland & Williams, 2007; Kraemer et al., 2002).

2.4.1 Nevrologiske adaptasjoner

De nevrologiske adaptasjonene er økt rekruttering, fyringsfrekvens og bedre samspill mellom motoriske enheter. Man finner ofte, men ikke alltid økt EMG aktivitet etter styrketrening (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006; Häkkinen et al., 1998), noe som kan indikere økt rekruttering og/ eller fyringsfrekvens av de motoriske enhetene.

Aktiveringsgraden av muskulaturen er undersøkt med interpolert twitch teknikk (ITT) i flere studier, og muskelkraften ser ut til å øke noe når man overstimulerer nervene med elektriske impulser (Babault, Pousson, Ballay, & Van Hoecke, 2001; Shield & Zhou, 2004). Selv om man finner et potensial for å øke aktiveringsgraden av muskulaturen, er det imidlertid usikkert hvordan den påvirkes av styrketrening. Dette siden de fleste studier som har undersøkt effekten av styrketrening på aktiveringsgrad ikke har fanget opp denne adaptasjonen (Shield & Zhou, 2004). Uansett slår flere forskere fast at nevrologiske faktorer har stor betydning for styrkeøkning, men da i form av et bedre samspill mellom synergister, agonister og antagonister (Folland & Williams, 2007; Gabriel et al., 2006).

2.4.2 Muskulære adaptasjoner

Selv om det er vanskelig å detektere muskelvekst i starten av en treningsperiode, er det påvist en akutt økning i den myofibrillære proteinsyntesen utover nedbrytingen etter kun

en styrketreningsøkt (Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997). Under en styrketreningsperiode vil man dermed se en økning av muskelens tverrsnittareal som en følge av økt muskelfibertverrsnitt (hypertrofi). Det spekuleres i om det også kan forekomme nydannelse av muskelfibre (hyperplasi) (Folland & Williams, 2007). Hyperplasi er veldokumentert i dyremodeller (Antonio & Gonyea, 1993; Kelley, 1996), men er usikkert om forekommer hos mennesker. Andre forklaringer til misforholdet mellom økt muskelstyrke og muskelvekst, er foreslått å være ulike former for kvalitative endringer i muskelfibrene (D. A. Jones, Rutherford, & Parker, 1989; Narici et al., 1996) og at muskelfibrene muligens kan øke sitt areal på bekostning av det ekstracellulære rommet (Goldspink & Harridge, 2003).

Endringer i fibertypesammensetting ved styrketrening er relatert til økning av type IIA og reduksjon av type IIX muskelfibre (Andersen & Aagaard, 2010; Staron et al., 1990; Wilson et al., 2012). Det er derimot omdiskutert om styrketrening kan endre forholdet mellom type I og type II muskelfibre, men overvekt av forskning motstrider dette (Andersen & Aagaard, 2010; Wilson et al., 2012).

2.5 Hvordan øke muskelstyrke?

Økning i muskelmasse forekommer enten ved økt proteinsyntese eller redusert proteindegradering (Kraemer, Fleck, & Evans, 1996). Vi har tre hovedformer for stimuli ved styrketrening. *Mekanisk drag* er at muskelstrukturene settes på strekk. *Metabolsk stress* er forandring i det intracellulære miljøet, ved økning av metabolitter som innorganisk fosfat, hydrogenprotoner, laktat og nitrogenoksid. Sammen med anabole *hormoner*, som øker i konsentrasjon ved styrketrening, kan stimuliene påvirke signalveier som leder til muskelvekst (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005, 2006; Crewther, Keogh, Cronin, & Cook, 2006; Raastad et al., 2010).

Det totale stimuli man påfører en muskelgruppe i en styrkeøkt bestemmes av treningsmotstanden, antall repetisjoner per sett, antall sett per øvelse og hvor mange øvelser som gjennomføres totalt på en muskelgruppe. I tillegg kan mobiliseringen i hver repetisjon og pauselengden mellom hvert sett påvirke stimuleringen av nevralt og muskulære komponenter (Kraemer et al., 2002). Siden vi kan justere alle disse variablene kan vi lage utallig antall treningsprogram. Generelt har intervensjonsstudier og metastudier vist at man får størst økning i muskelstyrken når man trener med en motstand mellom 3

RM og 12 RM (Berger, 1962; Peterson, Rhea, & Alvar, 2004, 2005; Rhea, Alvar, Burkett, & Ball, 2003; Weiss, Conex, & Clark, 1999). Det anbefales å trene 2- 3 ganger i uka og med 2- 4 sett per øvelse for å få best effekt i oppstarten av et styrketreningsprogram (Peterson et al., 2004, 2005; Ratamess et al., 2009).

2.6 Effekten av samtidig kondisjon- og styrketrening på styrke

Hickson (1980) var en av de første til å studere samtidig styrke- og kondisjonstrening. Det ble funnet lavere styrkeøkning hos gruppen som trente kondisjon i tillegg til styrketrening sammenlignet med gruppen som kun bedrev styrketrening. Dette funnet er repetert i flere studier (Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000; Dudley & Djamil, 1985; Gergley, 2009; Izquierdo, Häkkinen, Ibanez, Kraemer, & Gorostiaga, 2005; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2012). Imidlertid er den negative effekten av kondisjonstrening på styrkeøkning antageligvis avhengig av treningsvolumet, hvilke muskelgrupper som trenes og når kondisjonsøkten blir gjennomført i forhold til styrketreningen (Raastad et al., 2010). Kraemer et al. (1995) fant at kondisjonstrening kun gjennomført på bein sammen med styrketrening, gav lavere styrkeøkning på beinmuskulaturen, men lik styrkeøkning på overkroppsmuskulatur som kun å trene styrke. Det kan også se ut som at man får best effekt av styrketrening når styrketreningen og kondisjonstreningen gjennomføres på forskjellige dager sammenlignet med samme dag (Sale, Jacobs, MacDougall, & Garner, 1990). Skal styrke- og kondisjonstrening gjennomføres samme dag, bør styrkeøkten gjennomføres først med tanke på optimal styrkefremgang. Dette forklares med at muskelstyrken er redusert i flere timer etter kondisjonstrening (Bentley, Zhou, & Davie, 1998; Sporer & Wenger, 2003), noe som kan redusere potensialet for å løfte tungt og dermed oppnå høyt mekanisk drag.

2.7 Kan styrketrening påvirke prestasjonen i kondisjonsidretter?

Kondisjonsidretter stiller store krav til aerob energiomsetning. Dermed har utøverne i disse idrettene tradisjonelt fokusert på kondisjonstrening for å øke $VO_{2\text{-maks}}$. I senere år har det imidlertid blitt mer og mer vanlig at utøvere i kondisjonsidretter trener tung styrketrening, i håp om at dette kan forbedre prestasjonen. Dette kapittelet gjennomgår hvordan styrketrening kan påvirke prestasjon og prestasjonsrelaterte variabler i kondisjonsidretter. Kapittelet tar for seg studier gjennomført på for det meste løping og sykling på godt trente individer. Studiene på langrensløpere gjennomgås mer grundig i kapittel 2.8.

2.7.1 Maksimalt oksygenopptak

Styrke- og kondisjonstrening har flere antagonistiske effekter (Nader, 2006). Studier på langrennsløpere (Hoff et al., 2002; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007) syklistere (Aagaard et al., 2011; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2011) og løpere (Ferrauti, Bergemann, & Fernandez-Fernandez, 2010; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari, & Häkkinen, 2007; G. P. Millet, Jaouen, Borrani, & Candau, 2002; Saunders et al., 2006; Støren, Helgerud, Støa, & Hoff, 2008) har likevel vist at å tilføre styrketrening til treningsprogrammet ikke har resultert i negativ utvikling av $VO_{2\text{-maks}}$. Studiene har variert mellom å tilføre styrketrening, eller å erstatte noe av kondisjonsteningen med styrketrening. Varigheten av studiene har vært forholdsvis kort (≤ 16 uker), og det er mangelfull dokumentasjon på langtidseffektene av å tilføre styrketrening på bekostning av kondisjonstrening. Det finnes også unntak. Paavolainen, Häkkinen, Hämmäläinen, Nummela, og Rusko (1999) fant negativ utvikling av $VO_{2\text{-maks}}$ når noe av kondisjonsteningen ble erstattet med styrketrening over 9 uker sammenlignet med kontrollgruppen.

2.7.2 Utnyttelsesgrad og laktatterskel

Siden utnyttelsesgraden reflekteres av laktatterskel (A. M. Jones & Carter, 2000) og siden det er spesielt krevende å måle utnyttelsesgraden over lange varigheter, bruker man ofte laktatterskel for å indikere utnyttelsesgrad. De fleste studiene som har undersøkt effekten av styrketrening på laktatterskel eller laktatkonsentrasjon på gitte belastninger hos godt trente individer har verken funnet noen effekt på løping (Ferrauti et al., 2010; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Spurrs, Murphy, & Watsford, 2003; Støren et al., 2008) eller på sykling (Aagaard et al., 2011; Bishop, Jenkins, Mackinnon, McEniery, & Carey, 1999; Jackson, Hickey, & Reiser, 2007; Sunde et al., 2010). Det finnes også unntak. Rønnestad, Hansen, og Raastad (2010) fant økt effektproduksjon assosiert med en laktatkonsentrasjon på $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. Laktatkonsentrasjonen var også lavere på den høyeste submaksimale belastningen, slik at det forekom en høyreforskyvning i laktatprofilkurven hos styrkegruppen, men ikke i kontrollgruppen etter en 12 uker intervensjonsperiode.

2.7.3 Oksygenkostnad

Flere studier har funnet redusert O_2 -kostnad som følge av styrketrening på løping (Guglielmo, Greco, & Denadai, 2009; Johnston, Quinn, Kertzer, & Vroman, 1997; G. P. Millet et al., 2002; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Sedano, Marin,

Cuadrado, & Redondo, 2013; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2008; Turner, Owings, & Schwane, 2003). Noen få studier har også funnet dette på sykling (Sunde et al., 2010) og på langrenn (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Østeras et al., 2002). Det finnes også unntak. I Aagaard et al. (2011) reduserte kun kontrollgruppen O₂-kostnaden i sykling. Det er også et stort antall studier hvor verken styrke- eller kontrollgruppen har endret O₂-kostnaden (Ferrauti et al., 2010; Jackson et al., 2007; Rønnestad et al., 2010; Taipale, Mikkola, Vesterinen, Nummela, & Häkkinen, 2013).

2.7.4 Anaerob kapasitet

Det er funnet høyere anaerob kapasitet, målt som ΣO_2 -underskudd, hos styrketrente menn i forhold til kondisjonstrente og utrente individer. Det er imidlertid usikkert om dette skyldtes trening, genetisk predisponering eller en kombinasjon (Pizza et al., 1996). Styrketrening har økt anaerob kapasitet, målt med Wingate test (Chromiak et al., 2004), men i litteratursøket ble det kun funnet én studie som undersøkte effekten av styrketrening på ΣO_2 -underskudd. Studien ble gjennomført på utrente menn og fant ingen signifikant effekt av styrketreningen (Minahan & Wood, 2008).

2.7.5 Effekten av styrketrening på prestasjon

Dessverre har flere av studiene ovenfor utelatt prestasjonstester. Dette reduserer styrken av studiene, da det i hovedsak er prestasjonen man ønsker å forbedre ved trening.

Aagaard et al. (2011) fant ingen effekt av styrketrening på en maksimal anstrengelsestest over 5 min, men styrketreningen økte effektproduksjonen over 45 min. Det er også funnet økt prestasjon som følge av styrketrening på en 5 min lang maksimal anstrengelsestest etter 185 min submaksimalt arbeid (Rønnestad et al., 2011). De to studiene ovenfor var gjennomført på sykkel, men det er også funnet effekt av styrketrening på løpedistanser mellom 3 og 5 km (Paavolainen et al., 1999; Spurrs et al., 2003) og som TTU på maksimal aerob hastighet (Støren et al., 2008).

Hickson, Dvorak, Gorostiaga, Kurowski, og Foster (1988) fant økt TTU i løping som ledet til utmattelse på 4- 8 min etter at det ble tilført styrketrening i treningsarbeidet. Det ble derimot ikke funnet noen effekt av styrketrening på 10 km distanse. Det er også gjennomført studier på sykkel som ikke har funnet noen effekt av styrketrening på ulike prestasjonstester (Bastiaans, van Diemen, Veneberg, & Jeukendrup, 2001; Bishop et al.,

1999; Levin, McGuigan, & Laursen, 2009). Levin et al. (2009) fant faktisk redusert sykkelprestasjon på 1 km sluttspurt etter 29 km sammenhengende arbeid i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen.

2.7.6 Underliggende mekanismer: muskulatur og biomekanikk

Mekanismene bak effekten av styrketrening på prestasjon i kondisjonsidretter er uklare.

Det er hypotetisert at det kan forekomme økt fjærstivhet i muskel- sene komplekset, noe som kan føre til mer effektiv kraftoverføring (Paavolainen et al., 1999; Spurrs et al., 2003). Når man blir sterkere vil muskulaturen jobbe på relativt lavere belastning, noe som kan øke potensialet for å holde høyere muskulære belastninger (Aagaard & Andersen, 2010). Det er også antatt at økt muskelstyrke kan føre til mindre kompresjon av blodårene under arbeid, siden muskelkontraksjonen utgjør relativt lavere andel av maksimalkraft (Hoff et al., 1999). Økt muskelstyrke og økt rate of force development (RFD), funnet i flere studier (Aagaard et al., 2011; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010), kan potensielt føre til at man overvinner motstanden man arbeider mot raskere. Dette kan forkorte arbeidsfasen og forlenge restitusjonsfasen for hver bevegelsesyklus (Aagaard & Andersen, 2010; Hoff et al., 1999). En lengre restitusjonsfase vil kunne medføre økt blodgjennomstrømning og økt mean transit time, og gjøre forholdene for aerob energiomsetning gunstigere. I Aagaard et al. (2011) ble det funnet reduksjon av type IIX muskelfibre og økt mengde type IIA muskelfibre som en følge av styrketreningsintervensjonen. Dette kan være gunstig siden type IIA er mer utholdende og energiøkonomiske enn type IIX muskelfibre, og har likevel høy evne til kraftutvikling (Bottinelli, Pellegrino, Canepari, Rossi, & Reggiani, 1999; Fitts & Widrick, 1996). Det er også vist at konsentrasjonen av kapillærer opprettholdes i muskelvevet hos kondisjonsutøvere, selv når de gjennomfører styrketrening (Aagaard et al., 2011).

2.8 Samtidig styrke- og kondisjonstrening hos langrensløpere

Det er per i dag publisert syv artikler fra studier som har undersøkt effekten av styrketrening på langrenn- og kombinertløpere, og som har inkludert en relevant kontrollgruppe. Studiene har benyttet noe ulike metodiske tilnærminger, har resultert i noe ulike funn og presenteres i tabell 2.1 (s. 28- 29) og i teksten under.

Hoff et al. (1999) undersøkte effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen i stakeergometer hos kvinner. Intervensjonen varte 9 uker og bestod av én styrkeøvelse på

overkroppen som simulerte bevegelsesformen staking ("modifiserte nedtrekk"). Øktene ble gjennomført 3 ganger i uken, med 3 sett og med en motstand lik 6 RM for styrkegruppen. Styrkegruppen økte 1 RM med 14,5 % gjennom perioden. Kontrollgruppen kunne ikke trene styrketrening med færre enn 20 repetisjoner per sett og endret ikke 1 RM. $VO_{2\text{-maks}}$ løping, $VO_{2\text{-peak}}$ staking og laktatterskel var uendret etter intervensjonen uavhengig av gruppe. Det ble funnet økt TTU på maksimal aerob hastighet i stakerometeret hos både styrke- (137 %) og kontrollgruppen (58 %), hvor økningen var signifikant større hos styrkegruppen.

I en annen studie av samme forskergruppe ble tilsvarende treningsregime undersøkt på menn. Intervensjonen varte åtte uker og styrkegruppen økte 1 RM med 10 % og toppkraft (N) under 1 RM- test med 34 %. Tiden til toppkraft ble også redusert med ~50 % og ~60 % under repetisjoner med motstand på henholdsvis 80 % og 60 % av 1 RM i styrkegruppen. Det ble ikke funnet endring på disse variablene hos kontrollgruppen. Det ble funnet økt TTU i stakerometer for både styrke- (56 %) og kontrollgruppen (25 %), hvor økningen var signifikant større i styrkegruppen (Hoff et al., 2002).

Østeras et al. (2002) gjennomførte også tilsvarende intervensjon som Hoff et al. (1999) på godt trent menn. Det ble funnet økt TTU (61 %) og økt 1 RM styrke (21 %) hos styrkegruppen. Økningen i TTU var 55 % større i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen. Økt TTU ble delvis forklart med at belastningen i et stavtak utgjorde relativt lavere andel av maksimalkraft etter intervensjonen. Det ble også funnet forbedret O_2 - kostnad i styrkegruppen, men ingen endringer i $VO_{2\text{-peak}}$ og laktatterskel uavhengig av gruppe.

I Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007) ble 27 % av kondisjonstreningen erstattet med eksplosiv styrketrening og hurtighetstrening for en gruppe mannlige langrensløpere. Kontrollgruppen fortsatte med sitt vanlige treningsprogram, og det totale treningsvolumet i timer og antall økter per uke var tilsvarende for gruppene. MVC i kneestensjon økte i både styrke- og kontrollgruppen, men maksimal EMG aktivitet var uforandret i vastus lateralis. Det ble imidlertid funnet høyere kraft og EMG aktivitet etter 100 millisekund i styrkegruppen (økt RFD). Kun styrkegruppen reduserte tid på 30 m staking og reduserte O_2 - kostnaden i staking. Tid på 2 km staking ble imidlertid redusert

signifikant i kontrollgruppen (-2,9 %), men ikke i intervensjonsgruppen (-5,5 %) på grunn av stor individuell variasjon.

Rønnestad, Kojedal, et al. (2012) undersøkte effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen hos kombinertløpere. Styrkegruppen trente to styrkeøkter i uken på over- og underkropp med 3- 10 RM motstand og med 3- 5 sett over 12 uker. De fant økt 1 RM i sittende overtrekk (23 %) og knebøy (12 %), økt hopp høyde i hopp med svikt (SJ) og økt muskeltykkelse av vastus lateralis i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen. Det ble derimot ikke funnet noen effekt av styrketreningen på 7,5 km distanse, samt O_2 kostnad og VO_{2maks} i skøyting.

Losnegard et al. (2011) gjennomførte en intervensjon over 12 uker med maksimal styrketrening på både over- og underkropp. Det ble funnet økt muskeltverrsnitt for triceps brachii for både styrke- og kontrollgruppen, men ikke for quadriceps. Tverrsnittøkningen av triceps brachii tenderte til å være større hos styrkegruppen ($p=0,1$), og det var kun styrkegruppen som økt sin fettfrie masse i overkroppen. Kroppsvekten endret seg imidlertid ikke for noen av gruppene. Styrkegruppen økte 1 RM i sittende overtrekk (19 %) og knebøy (12 %), og endringene var signifikant større sammenlignet med kontrollgruppen. Det ble funnet økt VO_{2maks} i V1 skøyteteknikk for styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen. Det ble argumentert for at dette kunne skyldes økt O_2 -ekstraksjon i overkroppsmuskulatur som følge av økt muskelmasse, da det parallelt ikke ble funnet noen endring i VO_{2maks} løping uanhengig av gruppe. Endringene på prestasjonstestene utendørs på rulleski skøyting og staking (varighet: ~4- 6 min) var tilsvarende for kontroll- og styrkegruppen. Det ble derimot funnet en signifikant større økning i effektproduksjon på en 5 min maksimal anstrengelsestest i stakeergometer for intervensjonsgruppen. Endringene var tilsvarende for de to gruppene på 20 sek i stakeergometer, og ingen av gruppene endret tiden på 100 m skøyting eller O_2 - kostnaden i V1 skøyteteknikk.

Tabell 2.1: En oversikt over tidligere studier som har undersøkt effekten av styrketrening hos langrennsløpere og som har inkludert en relevant kontrollgruppe. Effekttørrelse (ES; Cohen's *d*) oppgis i endring fra pre- til posttest i styrkegruppen (STR), kontrollgruppen (KON) og for differansen (Diff) i endring på prestasjonstestene mellom gruppene. En positiv ES indikerer en forbedring i prestasjon i STR og KON, og i gruppesammenligningen indikerer en positiv ES en effekt av styrketreningen.

Studie	Kjønn	Varighet og når	Gruppe	Styrketrening (styrkegruppe)	Effekt på styrke (styrkegruppe)	Effekt på langrennsspesifikk prestasjon og prestasjonsrelaterte variabler	ES (prestasjon)		
							STR	KON	Diff
Paavolainen, Häkkinen, og Rusko (1991)	Menn	6 uker Høsten Forberedelsesfase	Styrke (n=7) Kontroll (n=8)	Ekspløsv og maksimal styrketrening på helkropp	Økt SJ, CMJ og RFD, men ikke økt MVC kneekstensjon	Ingen endring i VO_{2-max} og laktatterskel uavhengig av gruppe	Målte ikke prestasjon		
Hoff et al. (1999)	Kvinner	9 uker oktober- desember	Random Styrke (n=8) Kontroll (n=7)	Maksimal styrketrening: 6rep* 3sett (~85 % av 1 RM), 3g/u. En stakesspesifikk øvelse (modifisert nedtrekk).	Økt IRM (treningsøvelse) (~15 %), økt RFD og økt toppkraft under IRM test (N)	Signifikant større forbedring av TTU ¹ på stakergometer for STR i forhold til KON. Ingen endring i VO_{2-max} , VO_{2-peak} og laktatterskel uavhengig av gruppe.	2,79 ¹	0,97 ¹	1,94 ¹
Østeras et al. (2002)	Men	9 uker Høst, før sesong-start	Random Styrke (n=10) Kontroll (n=9)	Som Hoff et. al. (1999)	Økt IRM (~22 %), RFD og MVC (treningsøvelse)	Økt TTU ² på stakergometer hos STR i forhold til KON. Redusert O ₂ - kostnad i STR. Ingen endring i laktatterskel og VO_{2-peak} uavhengig av gruppe.	1,69 ²	0,19 ²	1,62 ²
Hoff et al. (2002)	Menn	8 uker "pre-season"	Random Styrke (n=9) Kontroll (n=10)	Som Hoff et. al. (1999)	Økt IRM (treningsøvelse) (10 %), RFD og toppkraft under IRM test (N)	Økt TTU ³ på stakergometer i STR sammenlignet med KON. Ingen endring i VO_{2-max} og VO_{2-peak} uavhengig av gruppe.	2,31 ³	1,69 ³	1,35 ³
Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007) #	Menn	8 uker Høst "tidlig forberedelsesfase"	Styrke (n=8) Kontroll (n=11)	27 % av treningsvolum erstattet med eksplosiv styrke- og hurtighetstrening	Økt MVC, RFD _{100ms} (18 %) og IEMG _{100ms} (21 %) i VL ved kneekstensjon	Ingen forskjell i endring 2 km TT staking ⁴ . Redusert tid på 30 m (1,4 %; p<0,05) og redusert O ₂ - kostnad i staking i STR (7 %; p<0,05). Ingen endring i VO_{2-max} i STR eller KON.	0,42 ⁴	0,41 ⁴	0,22 ⁴

Losnegard et al. (2011) #	Menn (n=11)	12 uker	Styrke (n=9)	Maksimal styrketrening: 10-4 RM, 3sett, ~2 g/ u.	Økt 1RM knebøy (12 %) og sittende overtrekk (19 %). Økt CSA triceps brachii (5,5 %). Uendret CMJ	Ingen forskjell i endring mellom STR og KON i 1,1 km TT staking ⁵ , 1,3 km TT skøyting ⁶ , men signifikant større økning i effekt på 5 min ⁷ i stakergeometer i STR.	0,41 ⁵	0,30 ⁵	0,08 ⁵
	Kvinner (n=8)	Juni-august	Kontroll (n=10)	Over- og underkropppsøvelser	Uendret O ₂ - kostnad i STR. Økt VO ₂ -maks i skøyting for STR, men uendret for begge grupper i løping.	0,30 ⁶	0,20 ⁶	0,04 ⁶	
Rønnestad et al. (2012)	Menn	12 uker	Styrke (n=8)	Maksimal styrketrening: 3-8 RM, 3-5 sett, 2 g/ u.	Økt 1 RM sittende overtrekk (23 %) og knebøy (12 %), økt muskeltykkelse i VL og økt SJ	Ingen endring på 7,5 km TT ⁸ skøyting.	0,23 ⁸	0,15 ⁸	0,18 ⁸
		Mai →	Kontroll (n=9)	Over- og underkropppsøvelser		Ingen endring i VO ₂ -maks eller O ₂ -kostnad i V1 skøyteknikk uanhengig av gruppe.			
NB! (kombinert -løpere)									

Random: randomisert. TTU: tid til utmattelse. TT: time trial (løpstid) n: antall. SJ: squat jump. CMJ: counter movement jump. MVC: maksimal volunær kontraksjon.

RM: repetisjon maksimum. VL: vastus lateralis. CSA: muskel tverrsnittareal. IEMG: integrert elektromyografi. N: newton. g/ u: ganger i uken. ms: millisekund. #: Alle rådata er ikke fremstilt i publikasjon, men hentet inn gjennom personlig kommunikasjon med førsteforfatter.

Effektstørrelsen av differansen i endring mellom STR og KON ble utregnet som differansen i endring fra pre- til posttest ($\Delta STR - \Delta KON$) delt på pooled standard deviation (P-SD) fra pretest.

$$P-SD: \sqrt{\frac{(n_s-1)V_s + (n_k-1)V_k}{n_s + n_k - 2}}$$

der n er antall individer i styrkegruppen (s) og kontrollgruppen (k), og V er variansen i gruppene på pretest

3. Metode

3.1 Deltakere

Nitten kvinnelige juniorlangrennsløpere ble rekruttert fra Norges Toppidrettsgymnas (NTG) og Høgskolen i Lillehammer. Det ble verken satt inklusjons- eller eksklusjonskriterier med tanke på tidligere erfaring med styrketrening, og alle var skadefrie og friske ved oppstart av studien. Deltakerne var på høyt nasjonalt nivå i sine aldersklasser, og tre av løperne ble tatt ut til å representere Norge i Jr. VM den respektive sesongen studien foregikk. Et detaljert informasjonsskriv ble utlevert og deltakerne gav skriftlig informert samtykke til å delta (vedlegg VII). Prosjektet var informert til Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK) avdeling sør- øst før oppstart (Referanse Nr: 2013/1055).

Etter pretesting valgte deltakerne seg til en av to grupper i samråd med sine personlige trenere: intervensjonsgruppen (INT) eller kontrollgruppen (KON). Karakteristikkene til de to gruppene fremstilles i tabell 3.1. Med unntak av en aldersforskjell på ~1 år var det ingen signifikant forskjell mellom gruppene. Tre deltakere (INT: 2; KON:1) trakk seg underveis av grunner ikke relatert til studien.

Tabell 3.1: Karakteristikker for intervensjonsgruppen (INT; n= 9) og kontrollgruppen (KON; n= 7) (pretest).

Variabel	INT (snitt ± SD)	KON (snitt ± SD)	Gruppesammenligning: kvalitativ vurdering (ES)
Alder (år)	17.7 ± 1,0 *	16.6 ± 0,5	Stor (1,32)
Høyde (cm)	171 ± 5	166 ± 6	Moderat (0,81)
Vekt (kg)	61 ± 4	60 ± 9	Ubetydelig (0,12)
Kroppsmasseindeks	21 ± 1	22 ± 2	Liten (-0,40)
1 RM, sittende overtrekk (kg)	28 ± 2	27 ± 5	Ubetydelig (0,16)
Sprinttest (W)	62 ± 8	65 ± 15	Liten (-0,24)
VO _{2-peak} staking (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	53,6 ± 5,8	51,6 ± 3,5	Liten (0,40)
VO _{2-maks} løping (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	61,0 ± 5,0	57,9 ± 3,3	Moderat (0,69)

ES: effektstørrelse (Cohen's *d*). Terskelverdier: 0,2, 0,6, 1,2 og 2,0 for henholdsvis liten, moderat, stor og veldig stor effekt. SD: standardavvik. Snitt: gjennomsnitt. W: watt *Signifikant forskjellig fra KON (p<0,05).

3.2 Eksperimentelt design

Før pre- og posttesting gjennomførte deltakerne tilvenning i et stakeergometer (figur 3.2) og til styrketesten. Testene ble gjennomført på 4 testdager i løpet av 10- 12 dager (48- 72

3. Metode

timer mellom hver test). På testdag 1 og 2 gjennomførte deltakerne to forskjellige protokoller i stakergometeret. På dag 3 ble maksimal styrke (1 RM) testet og omkretsen av overarmen målt. På dag 4 ble $VO_{2\text{-maks}}$ i løping målt. Den samme rekkefølgen, de samme prosedyrene og den samme testlederen ble benyttet under pre- og posttesting. Det forekom sykdom (forkjølelse) for en deltaker ved pretest, og denne deltakeren gjennomførte 4. test 14 dager etter planlagt testing. En deltaker gjennomførte også test 3 og 4 på samme dag (først 1 RM- test, deretter $VO_{2\text{-maks}}$ løping). Ved posttest ble det forskyvning av test 3 og 4 for to deltakere og test 4 for en deltaker pga. lett forkjølelse. Disse tre gjennomførte de resterende testene en uke etter planlagt testing. Fire deltakere gjennomførte test 3 og 4 på samme dag ved posttest (først 1 RM- test, deretter $VO_{2\text{-maks}}$ løping). Deltakerne trente ikke før testen på testdagen og dagen før trente de maksimalt 90 min med lav intensitet (<75 % av maksimal hjerterefrekvens (HF_{maks})). Deltakerne gjennomførte tilnærmet samme trening gjennom pre- og posttestingsperioden.

Intervensjonen varte 10 uker, der INT gjennomførte et styrketreningsprogram med 2 ukentlige økter i tillegg til sitt vanlige treningsprogram. Deltakerne måtte utføre $\geq 85\%$ av planlagte økter for å tas med i statistiske analyser. KON fortsatte med sitt vanlige treningsprogram, men kunne ikke trene maksimal styrketrening. Deltakerne i INT og KON (unntatt én deltaker) deltok i samme treningsgruppe, med de samme 4 trenerne, og hadde gjennomsnittlig ~6 fellesøkter i uka bestående av ~2 hardøkter, 1- 2 basisstyrkeøkter og ~3 langturer. Tiden INT trente maksimal styrketrening ble ikke tatt fra de nevnte fellesøktene, men fra tiden deltakerne bedrev egentrening. Det fullstendige studiedesignet fremstilles i tabell 3.2. Prosjektet, inklusiv tilvenning, startet opp i slutten av august og posttesting var over i starten av desember.

Tabell 3.2: Tabellen viser det eksperimentelle designet satt i tidsperspektiv.

Tilvenning	x											x				
Staketester		x										x				
1 RM- test og armomkrets			x									x				
$VO_{2\text{-maks}}$ løping				x								x				
			Pretest				Intervensjon					Posttest				
			↔	←	→	→	→	→	→	→	→	↔				
Uke		-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

RM: repetisjon maksimum

3.3 Testprosedyrer

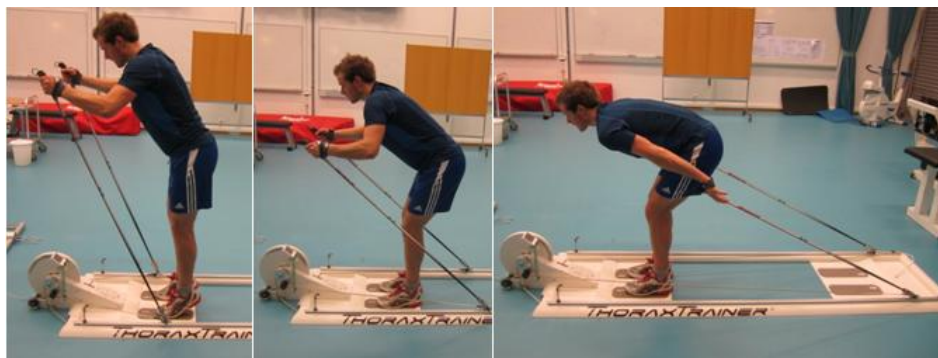
3.3.1 Tilvenning

Tilvenning før pretest foregikk over fire separate økter, to styrkeøkter i et kabeltrekkapparat og to stakeøkter i stakeergometer. Styrketilvenningen bestod av generell oppvarming med 10 min løp, etterfulgt av innlæring i riktig teknikk i 1 RM testøvelsen sittende overtrekk (figur 3.1). Deltakerne gjennomførte 3 serier med 10, 6 og 3 repetisjoner på submaksimale økende belastninger (~40, ~75 og ~85 % av 1 RM), etterfulgt av 2- 3 tyngre, tilnærmet maksimale og maksimale løft for å estimere 1 RM i øvelsen.



Figur 3.1: Oversikt over styrkeøvelsene som ble benyttet i prosjektet: sittende overtrekk (1), stående staking m/benk (2) og triceps-press (3) (hentet fra: <http://www.nih.no/forskningsprosjekter-ved-nih/ftp/Prosjekter/Prosjekter-innen-ski/styrketrening-og-langrenn/> (14.05.13)).

Den første tilvenningsøkten i stakeergometeret ble gjennomført med tilsvarende prosedyrer som *Stakeprotokoll 1* (se kapittel 3.3.4 *Stakeergometertester*). Andre tilvenningsøkt ble gjennomført som *Stakeprotokoll 2*, men de relative submaksimale belastningene ble estimert. Dette siden utregninger av individuelle belastninger forutsetter bruk av ergospirometrisystem under *Stakeprotokoll 1*, noe som ikke ble benyttet under tilvenningsøktene. Tilvenning til posttest ble gjennomført over én økt og innebar gjennomføring av *Stakeprotokoll 2*, samt tilvenning til 1 RM styrkeøvelse med tilvarende prosedyrer som ved pretest.

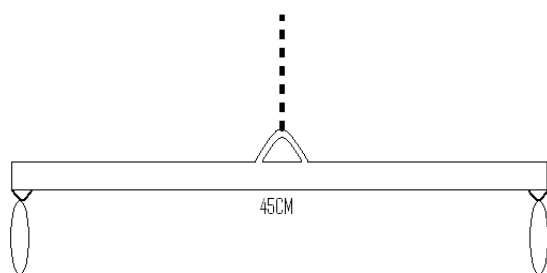


Figur 3.2: Stakeergometeret som ble benyttet til tilvenning og testing under prosjektet

3.3.2 Maksimal styrketest

1 RM ble testet i øvelsen sittende overtrekk (figur 3.1), ved hjelp av et standard kabeltrekkapparat og en benk med regulerbar rygg (Gym2000 AS, Vikersund, Norge). Omdreingsaksen mellom setet og ryggen på benken var plassert 80 cm fra den vertikale linjen ned fra omdreingsaksen til taljen på kabeltrekkapparatet. Vinkelen på ryggen var ~130 grader i forhold til vannrett (golvet). Setet var vinklet ~20 grader i forhold til vannrett, slik at setet var ~110 grader i forhold til ryggen. Vaieren var tilnæret parallell med ryggen på benken ved startposisjon av øvelsen.

Oppvarmingen inkluderte 10 min løp på 60- 70 % av HF_{maks} og 3 oppvarmingssett med 10, 6 og 3 repetisjoner med økende submaksimale belastninger (40, 75 og 85 % av estimert 1 RM, samme motstand pre- og posttest). Startbelastningen tilsvarte 95 % av estimert 1 RM. Ved godkjente løft ble motstanden økt med 2- 5 %, helt til deltakeren ikke klarte å fullføre repetisjonen og hadde 2 underkjente løft. Den siste fullførte motstanden ble registrert som 1 RM. Pausen mellom løftene var 2- 3 min. I øvelsen ble det benyttet et selvkonstruert håndtak, som ble festet til kabeltrekkapparatet for å få en bevegelsesyklus mest mulig lik stakkebevegelsen (bredde: 45cm; figur 3.3). Kriterier for godkjente løft var at bevegelsen startet i posisjonen der håndtaket var i samme høyde som pannen og var fullført når håndtaket berørte lårene. Videre måtte ryggen ha kontakt med benken under hele bevegelsen og bevegelsesbanen måtte utføres med parallelle armer og i en kontinuerlig bevegelse.



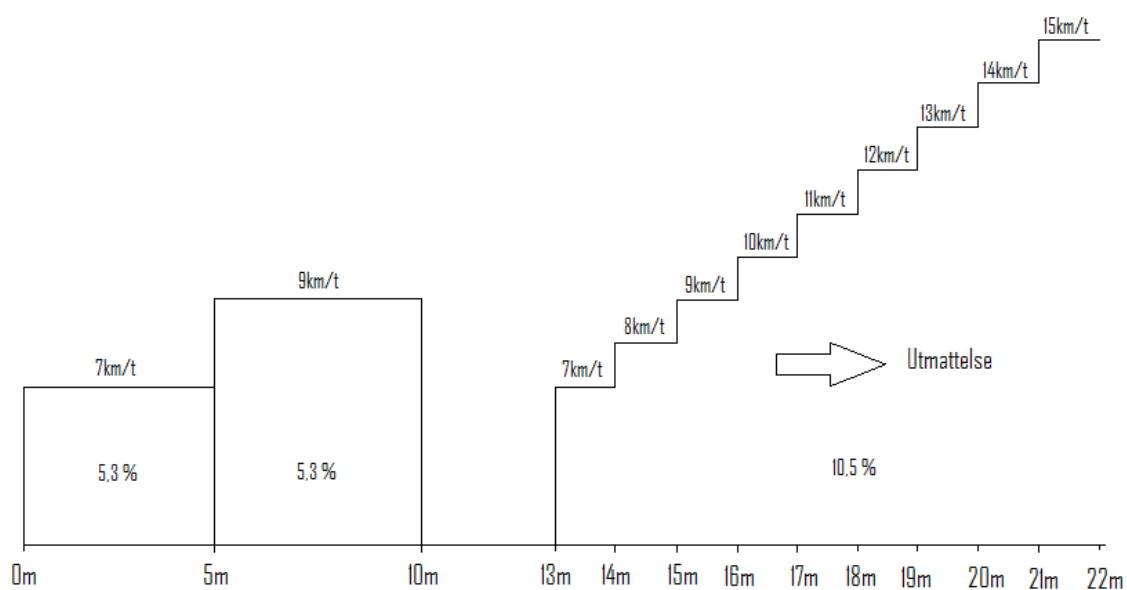
Figur 3.3: Håndtak benyttet i øvelsene sittende overtrekk, stående staking m/ benk og triceps- press.

3.3.3 Maksimalt oksygenopptak løping

VO_{2-maks} i løping på tredemølle (Woodway Desmo- Evo; Woodway GmbH, Waukesha, Wisconsin, U.S.A.) ble målt med et automatisk ergospirometrisystem (Oxycon Pro; Jaeger Instrument, Hoechberg, Tyskland), hvor ekspirasjonsgassen ble analysert i hvert utpust og oppgitt som et gjennomsnitt med 30 sek intervaller ("pust til pust"). Systemet er validert

3. Metode

både for pust til pust (Rietjens, Kuipers, Kester, & Keizer, 2001) og ved bruk av miksekammer (Foss & Hallén, 2005). Kalibreringen ble gjennomført i henhold til instruksjonsmanualen, der gassanalysatoren ble kalibrert mot uteluft og sertifisert kalibreringsgass (5,9 % karbondioksid, 14,9 % O₂ og restgass nitrogen; Riessner-Gase GmbH, Lichtenfels, Tyskland). Luftstrømturbinen for volummåling av inspirasjon- og ekspirasjonsgass (Triple V; Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Tyskland) ble kalibrert manuelt med en treliters kalibreringspumpe (Calibration Syringe, series5530; Hans Rudolph Inc., Kansas City, Missouri, U.S.A.). Etter 15 min oppvarming på 60- 75 % av HF_{maks}, samt to stigningsløp på 20 sek, gjennomførte deltakerne to 5 min lange submaksimale belastninger for å måle O₂- kostnad i løping. Deretter fikk deltakeren 3 min pause med mulighet for å drikke vann (maks 1,5 dl), etterfulgt av en protokoll med gradvis økende belastning for å måle løpsprestasjon og VO₂-maks (figur 3.4). De submaksimale belastningene foregikk på 5,3 % stigning og med hastighet på 7 km/ t og 9 km/ t på båndet. Opplevd anstrengelse ble registrert etter belastningene (Borg Rating of Perceived Exertion (RPE)). Test av VO₂-maks foregikk med konstant stigning (10,5 %). Startbelastningen var 7 km/ t og hastigheten ble økt med 1 km/ t for hvert fullførte minutt. Testdeltakeren ble instruert til å løpe til utmattelse og TTU ble registrert. Etter avsluttet test ble opplevd anstrengelse registrert (Borg RPE). Deltakeren stod i ro i ett minutt etter endt test og pulsfallet ble registrert. VO₂-maks ble regnet som det høyeste gjennomsnittlige O₂- opptak over 60 sek. Hjerterefrekvensen ble kontinuerlig målt med en Polar RS800 (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) og HF_{peak} ble registrert som det høyeste gjennomsnitt over 30 sek.



Figur 3.4: Protokoll benyttet for å måle VO₂-maks, O₂-kostnad og prestasjonen i løping.

3.3.4 Stakeergometertester

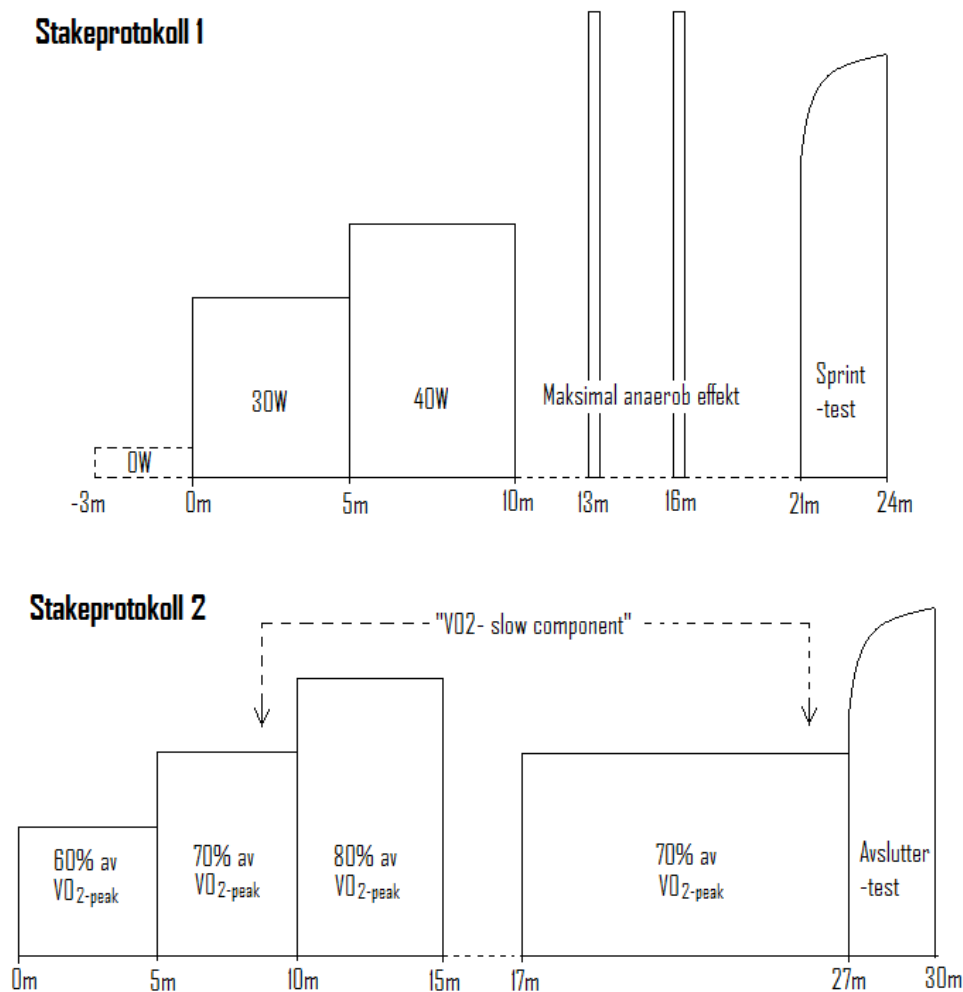
Det ble gjennomført to staketester på separate dager i et elektromagnetisk stakeergometer (ThoraxTrainer Elite; ThoraxTrainer ApS, Kokkedal, Danmark) (figur 3.2). Som oppvarming løp deltakerne 5 min på 60- 75 % av HF_{maks} og fikk i tillegg 2- 3 min utprøving av stakeergometeret før testprotokollene begynte. Stakeprotokoll 1 (figur 3.5) begynte med 2 min hvile etterfulgt av måling av O_2 - opptaket i hvile (3 min) i stående posisjon. Hvilemålingen ble etterfulgt av to sammenhengende 5 min lange submaksimale belastninger på 30 W og 40 W, etterfulgt av 3 min pause. Deretter ble det gjennomført to 20 sek maksimale arbeidsperioder. Pausen mellom de to forsøkene var 2 min og 40 sek. Den høyeste gjennomsnittelige effektproduksjonen av de to forsøkene ble registrert som "maksimal anaerob effekt". Etter de to forsøkene var det 4 min og 40 sek pause, etterfulgt av en 3 min maksimal arbeidsperiode (sprinttest). Under de første 30 sek av sprinttesten skulle testdeltakeren holde en effektproduksjon lik den gjennomsnittelige effekten deltakeren hadde på testen på tilvenningsdagen for å forhindre "overpacing" (erfaringer fra pilottesting). Deretter valgte deltakeren selv effekt, men fikk beskjed om å være totalt utmattet etter 3 min. O_2 - opptaket ble kontinuerlig målt under sprinttesten og submaksimale belastninger. Gjennomsnittelig effektproduksjon under 3 min med maksimal innsats ble definert som prestasjon på sprinttesten, og det høyeste O_2 - opptaket over 30 sek ble registrert som VO_{2-peak} . En av deltakerne gjennomførte de to submaksimale belastningene på 15 W og 20 W, grunnet hun ikke klarte å gjennomføre 30 W og 40 W (erfaring fra tilvenningsøktene).

Stakeprotokoll 2 (figur 3.5) begynte med tre sammenhengende 5 min lange submaksimale belastninger på henholdsvis 60, 70 og 80 % av VO_{2-peak} . Belastningene ble estimert med lineær ekstrapolering fra submaksimale belastninger og VO_{2-peak} fra stakeprotokoll 1. Belastningene ble etterfulgt av 2 min pause, hvor testpersonen fikk drikke om ønskelig (vann, maksimalt 1,5 dl). Deretter ble det gjennomført 10 min på 70 % av VO_{2-peak} , direkte etterfulgt av 3 min maksimal anstrengelse (avsluttest). La^- ble målt ved fingerstikk 1 og 3 min etter sprint- og avsluttesten med Lactate Pro analysator (Arkray Global Business Inc., Kyoto, Japan) validert av Medbø, Mamen, Holt Olsen, og Evertsen (2000).

O_2 - opptaket ble målt kontinuerlig under stakeprotokoll 2. Snittet av O_2 - opptaket mellom 3. og 5. min på submaksimale belastninger ble regnet som O_2 - kostnaden. O_2 - kostnaden mellom 8. og 10. min under den 10 min lange belastningen ble benyttet for å undersøke om

3. Metode

O₂- kostnaden økte under protokollen ("VO₂- slow component") (A. M. Jones et al., 2011). Under sprinttesten og avsluttertesten ble utnyttelsesgraden kalkulert som gjennomsnittlig O₂ opptak/ VO_{2-peak} (den høyeste registrerte VO_{2-peak} av de to protokollene). Programvaren til stakeergometeret (ThoraxTrainer Analyzer 1.52) registrerte effekt (W), antall sykluser per min og lengden på arbeidsfasen (sek). Videre ble stakefrekvens (Hz), syklustid (sek), arbeidsfase (% av syklustid), restitusjonstid (sek og % av syklustid) og kraftproduksjon per syklus (newton (N)) regnet ut definert etter Holmberg et al. (2005). Hjerterefrekvensen ble kontinuerlig målt på de to protokollene (Polar RS800; Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Opplevd anstrengelse ble registrert ved hver submaksimale belastning og rett etter sprint- og avsluttertesten (Borg RPE). Hos en deltaker ble registreringen av minuttventilasjon påvirket grunnet et fremmedlegeme (slim) som satte seg fast i volumsensoren under avsluttertesten. VO_{2-peak}, utnyttelsesgrad og \sum O₂- opptak på avsluttertesten vises dermed kun for 6 deltakere i KON.

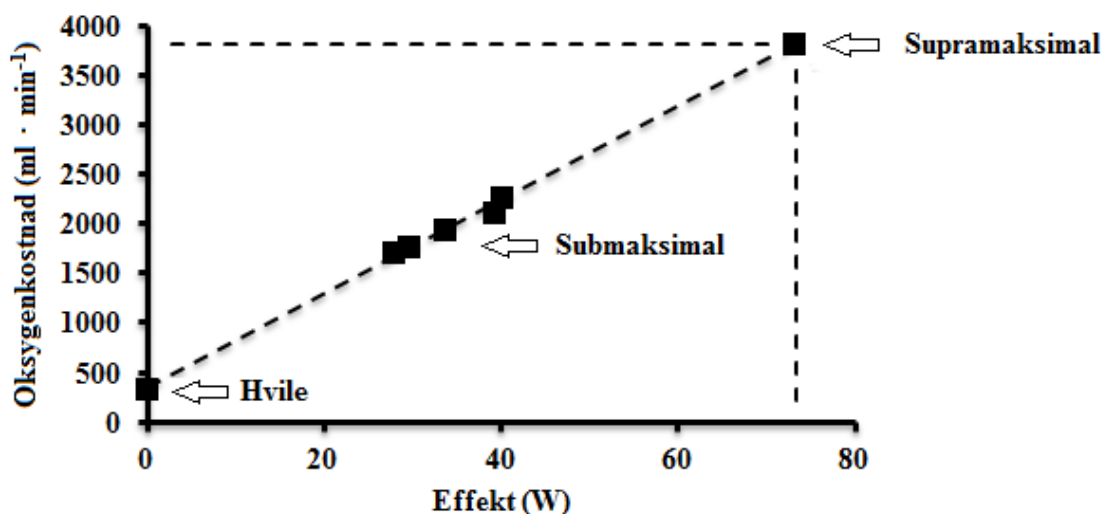


Figur 3.5: Protokoller for måling av O₂- kostnad, anaerob kapasitet, VO_{2-peak} staking, maksimal anaerob effekt og prestasjon på sprinttest og avsluttertest.

Staketestene ble gjennomført i et annet laboratorium enn løpetesten.

Ergospirometrisystemet var av samme type og modell (Oxycon Pro; Jaeger Instrument, Hoechberg, Tyskland), og de samme kalibreringsrutinene ble benyttet. De to systemene målte tilnærmet identisk (vedlegg V). Før alle målinger med ergospirometrisystem ble kroppsvekten målt med samme apparat (Seca model nr: 877; Seca GmbH & Co., Hamburg, Tyskland). Stakeergometeret var innstilt på motstand 10 under testen for maksimal anaerob effekt og på motstand 5 på resterende tester (erfaring fra pilottesting).

Anaerob kapasitet i form av $\sum O_2$ - underskudd ble estimert basert på metoden av Medbø et al. (1988) (MAOD- metoden). Metoden tar forbehold om at O_2 - kostnad er konstant på en gitt belastning og at forholdet mellom belastning og O_2 - kostnad er lineær. O_2 - kravet på sprinttesten ble estimert ved lineær ekstrapolering, basert på forholdet mellom ytre effekt og O_2 - kostnad. De fem O_2 - kostnadene målt på stakeprotokollene danner regresjonslinjen og skjæringspunktet med y-aksen ble låst på O_2 - opptaket i hvile (figur 3.6). $\sum O_2$ - underskudd ble utregnet som O_2 - krav minus $\sum O_2$ - opptak. Det ble valgt å se bort ifra fallet i O_2 - konsentrasjon i det venøse blodet fra hvile til maksimale anstrengelser



Figur 3.6: Figuren viser et eksempel på hvordan O_2 - kravet på supramaksimale belastninger ble ekstrapolert på bakgrunn av regresjonslinjen av O_2 - kostnadene på submaksimal belastning og O_2 - opptaket i hvile.

3.3.5 Omkrets overarm

Omkretsen av overarmen ble målt med et målebånd (Seca model 201; Seca GmbH & Co., Hamburg, Tyskland). Segmentlengden av overarmen ble regnet som avstanden mellom angulus acromii (scapula) og olecranon (ulna). Omkretsen ble målt ved 50, 60 og 70 % av segmentlengden fra angulus acromii, på både høyre og venstre arm. Omkretsen ble oppgitt som snittet av de seks målingene.

3.4 Treningen

Under intervensjonsperioden fortsatte INT og KON med sitt vanlige treningsprogram, i hovedsak bestående av kondisjonstrening i form av langkjøring og intervaller, og som var satt opp sammen med sine respektive trenere. I tillegg supplerte INT med ett styrketreningsprogram konstruert for å øke den maksimale styrken, og KON kunne ikke trene maksimal styrke. KON kunne likevel fortsette med styrketrening, der de benyttet en motstand som kunne løftes ≥ 25 ganger per sett. Intervensjonsperioden hadde en varighet på 10 uker, der INT trente 2 styrkeøkter i uken med ett mellomrom på minimum 48 t. Under tilfeller der deltakerne fikk redusert antall styrkeøkter grunnet samling eller sykdom, ble det i etterkant oppjustert til 3 styrkeøkter i uken frem til de var à jour med planen. Styrketreningsøktene bestod av øvelsene sittende overtrekk, stående staking m/benk og triceps-press (figur 3.1), og ble gjennomført i den nevnte rekkefølgen. Før styrkeøvelsene hadde deltakerne en generell oppvarming på 10 min sykling eller løping. Deretter en spesiell oppvarming med 2 serier på 10 og 6 repetisjoner i sittende overtrekk, med en motstand tilsvarende 40 og 75 % av 1 RM ved pretest. Antall repetisjoner og RM-motstand var lik for alle øvelser i samme økt og varierte under intervensjonen (tabell 3.3).

Tabell 3.3: Styrketreningsprogram for intervensjonsgruppen.

Uke	1- 4	5- 7	8- 10
Økt 1 (sett x repetisjoner)	3 x 10 RM	3 x 8 RM	3 x 6 RM
Økt 2 (sett x repetisjoner)	3 x 6 RM	3 x 5 RM	3 x 4 RM

RM: repetisjon maksimum

Pauselengden mellom settene var 2- 3 min og den totale tidsbruken per økt var ca. 40 min inklusiv oppvarming. Hver repetisjon ble gjennomført med maksimal mobilisering, men hastigheten på bevegelsen ble begrenset dersom dette var aktuelt for å sikre riktig løfteteknikk. Motstanden (kg) ble kontinuerlig justert for å sikre at deltakerne trente på riktig antall repetisjoner etter treningsplanen (RM- motstand).

Det ble satt opp 2- 3 fellesøkter i uken med 1- 3 veiledere på hver økt. Dette for å sikre at deltakerne fikk god oppfølging og trente med riktig teknikk og optimal belastning. Deltakerne kunne også trene på andre tidspunkter, dersom dette passet bedre inn i

treningsprogrammet. All gjennomført trening ble registret i Olympiatoppens treningsdagbok, fordelt på bevegelsesform og intensitet. Under styrketreningsøktene ble motstand og antall fullførte repetisjoner registrert i egne skjema (vedlegg VIII).

3.5 Statistiske metoder

Ingen rådata ble funnet å avvike signifikant fra normalfordeling med Shapiro- Wilks test. Rådata blir fremstilt som gjennomsnitt \pm standardavvik (SD), dersom noe annet ikke er spesifisert. Relativ endring er presentert som gjennomsnitt \pm 90 % konfidensintervall (KI). Baselineverdier mellom gruppene ble undersøkt med tosidig uparet Student's t- test og forhåndsprogrammerte excelark (Hopkins, 2007). Endring fra pre- til posttest i en gruppe ble undersøkt med tosidig paret Student's t- test. Forskjell i endring fra pre- til posttest mellom gruppene ble undersøkt med toveis variansanalyse (ANOVA) for repeterte målinger. Ved mistanke om konfunderende faktorer ble kovariansanalyse gjennomført (ANCOVA). Relativ endring innad i gruppen, effektstørrelse av endring (ES; Cohen's *d*) og forskjell i endring mellom gruppene (% og ES) ble utregnet via log- transformasjon av rådata i forhåndsprogrammerte excelark (Hopkins, 2006). Cohen's *d*:

endring fra pre- til posttest:

$$\frac{\bar{X}_{\text{Post}} - \bar{X}_{\text{Pre}}}{SD_{\text{Pre}}}$$

forskjell i endring fra pre- til posttest mellom INT og KON:

$$\frac{\Delta_{\text{INT}} - \Delta_{\text{KON}}}{SD_{\text{Pre}}}$$

ES ble klassifisert som ubetydelig ($ES < 0,2$), liten/ små ($0,2 \leq ES < 0,6$), moderat ($0,6 \leq ES < 1,2$), stor ($1,2 \leq ES < 2,0$) og veldig stor ($ES \geq 2,0$) (Hopkins, 2000b).

Sammenhengen mellom to variabler ble undersøkt med Pearsons produkt- moment korrelasjonskoeffisient (Pearson's *r*). Reliabilitet ble utregnet som variasjonskoeffisient (CV) og som intraklasse korrelasjon (IKK) (Hopkins, 2000a). Korrelasjonskoeffisient ble klassifisert som lav ($0,1 \leq r < 0,3$), moderat ($0,3 \leq r < 0,5$), høy ($0,5 \leq r < 0,7$), veldig høy ($0,7 \leq r < 0,9$) og nesten perfekt ($r \geq 0,9$) (Hopkins, 2000b). Stegvis multiple lineær regresjon ble benyttet for å undersøke hvilke variabler som predikerte prestasjonen best. Multikollinearitet ble undersøkt i modellene og variance inflation factor (VIF) < 5 ble regnet som akseptabel. Signifikansnivået ble satt til 90 %. Data ble behandlet i Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft, Redmond, USA) og IBM SPSS Statistics 20.0 (International Business Machines (IBM), New York, USA).

4. Resultater

4.1 Treningsvolum

Det var liten til ubetydelig forskjell i antall timer lavintensiv trening (LIT), høyintensiv trening (HIT), total kondisjonstrening og totalt antall treningstimer mellom INT og KON gjennom intervensjonsperioden (ES: 0,05 - 0,34; $p > 0,3$) (tabell 4.1). Kun INT gjennomførte maksimal styrketrening. Forskjellen i antall timer generell styrketrening var liten i favør av KON (ES: -0,59; $p < 0,1$) og forskjellen i total styrketrening var moderat i favør av INT (ES: 1,02; $p < 0,05$). INT gjennomførte 98 ± 3 % (range: 95- 100 %) av de planlagte styrkeøkterne gjennom intervensjonsperioden.

Tabell 4.1: Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på treningsmetode for intervensjonsgruppen og kontrollgruppen.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)		Kontrollgruppe (n= 7)		Gruppe-sammenligning
	Timer	Fordeling (%)	Timer	Fordeling (%)	Kvalitativ vurdering (ES)
HIT	$0,9 \pm 0,2$	6 ± 1	$0,8 \pm 0,1$	7 ± 1	Ubetydelig (0,05)
LIT	$10,3 \pm 1,6$	75 ± 3	$9,7 \pm 1,3$	76 ± 5	Liten (0,28)
Sum kondisjon	$11,2 \pm 1,8$	81 ± 3	$10,6 \pm 1,3$	83 ± 4	Liten (0,27)
Maksimal styrke	$1,1 \pm 0,1$	8 ± 1	-	-	-
Generell styrke	$1,0 \pm 0,5$	α 7 ± 3	$1,5 \pm 0,3$	12 ± 3	Liten (-0,59)
Sum styrke	$2,1 \pm 0,6$	* 15 ± 2	$1,5 \pm 0,3$	12 ± 3	Moderat (1,02)
Annet	$0,5 \pm 0,2$	4 ± 2	$0,7 \pm 0,4$	5 ± 3	Liten (-0,48)
Total sum	$13,8 \pm 2,3$	100	$12,7 \pm 1,4$	100	Liten (0,34)

Data er gjennomsnitt \pm standardavvik. ES: Effektstørrelse (Cohen`s *d*). Terskelverdier: 0,2, 0,6 og 1,2 for henholdsvis liten, moderat og stor ES. HIT: høyintensiv trening (>82 % av maksimal hjerterefrekvens), LIT: lavintensiv trening (<82 % av maksimal hjerterefrekvens). * og α : Signifikant forskjellig fra kontrollgruppen (henholdsvis $p < 0,05$ og $p < 0,1$).

Det var liten til ubetydelig forskjell i treningstimer i bevegelsesformene skøyting (rulleski og ski), klassisk (rulleski og ski) og løping mellom INT og KON (tabell 4.2).

4. Resultater

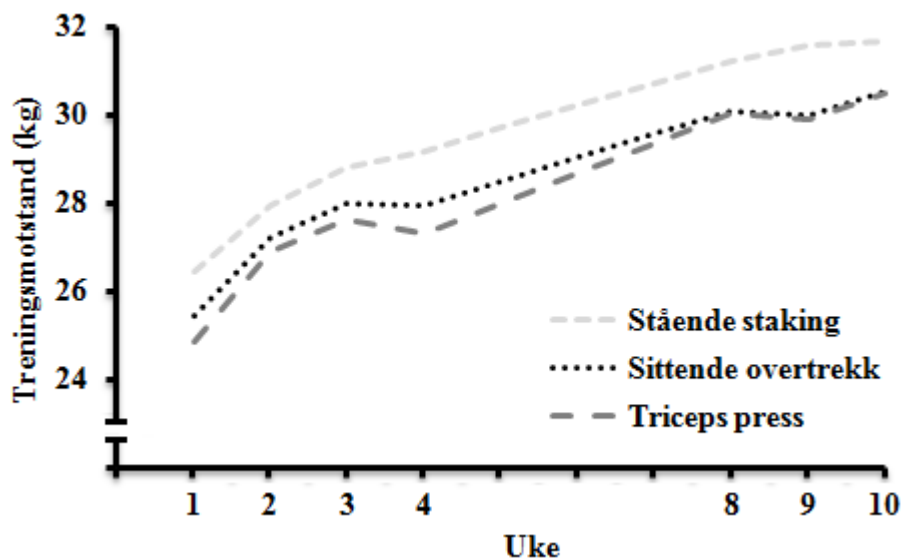
Tabell 4.2: Trenings timer per uke gjennom intervensjonen fordelt på bevegelsesform og prosentvis fordeling av totalt treningsvolum for intervensjonsgruppen og kontrollgruppen.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)		Kontrollgruppe (n = 7)		Gruppe-sammenligning
	Timer	Fordeling (%)	Timer	Fordeling (%)	Kvalitativ vurdering (ES)
Skøyting	2,9 ± 0,8	21 ± 4	2,9 ± 1,0	22 ± 6	Ubetydelig (0,15)
Klassisk	2,9 ± 0,5	22 ± 4	3,2 ± 0,5	25 ± 6	Liten (-0,43)
Løping	4,5 ± 1,1	32 ± 6	4,3 ± 0,9	34 ± 5	Ubetydelig (0,07)

Data er gjennomsnitt ± standardavvik. ES: Effektstørrelse (Cohen's *d*). Terskelverdier: 0,2 og 0,6 for henholdsvis liten og moderat effekt.

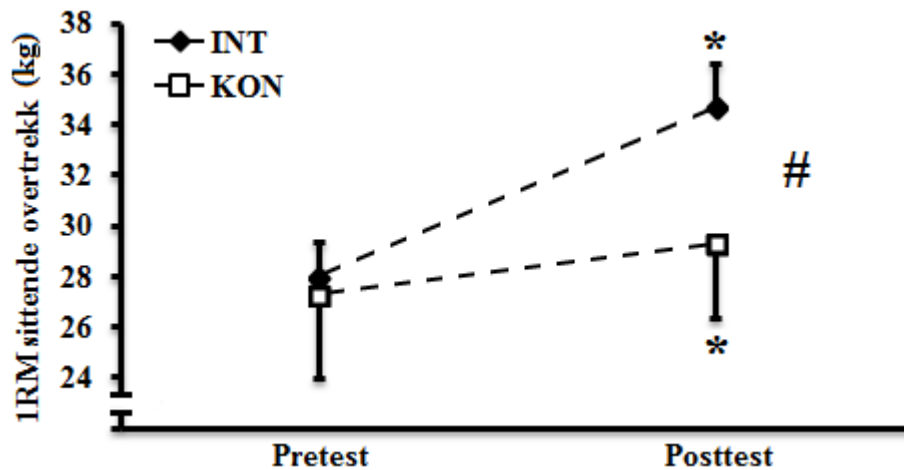
4.2 Maksimal styrke

Treningsmotstanden på 6 RM økten økte med henholdsvis $20 \pm 2\%$, $20 \pm 3\%$ og $23 \pm 3\%$ fra uke 1 til uke 10 gjennom intervensjonen for øvelsene sittende overtrekk, stående staking mot benk og triceps press (figur 4.1).



Figur 4.1: Treningsmotstanden på 6 RM økten for øvelsene sittende overtrekk, stående staking mot benk og triceps-press. Det ble ikke trent med 6 RM motstand i uke 5-7. Data er gjennomsnitt (n= 9).

1 RM i sittende overtrekk økte med $24 \pm 5\%$ i INT ($p < 0,01$) og med $8 \pm 7\%$ i KON ($p < 0,05$) fra pre- til posttest. Økningen i INT var $15 \pm 8\%$ større enn i KON ($p < 0,01$), noe som tilsvarte en moderat effektstørrelse (ES: 0,90) (figur 4.2).

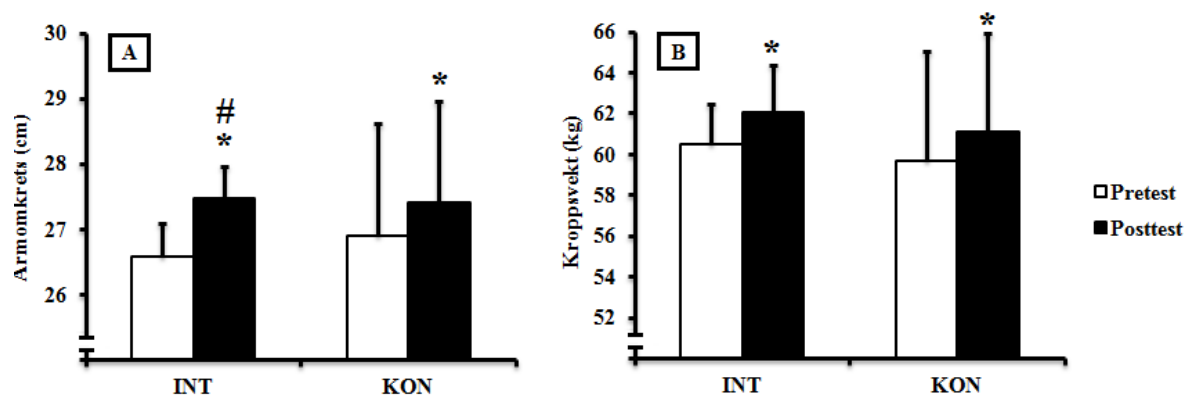


Figur 4.2: En repetisjon maksimum (1 RM) i sittende overtrekk ved pre- og posttest. Verdiene er oppgitt som gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall. *Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,01$). # Signifikant større endring fra pre- til posttest i intervensjonsgruppen (INT; $n = 9$) sammenlignet med kontrollgruppen (KON; $n = 7$) ($p < 0,01$).

4.3 Overarmomkrets og kroppsvekt

Omkretsen av overarmen økte med $3,3 \pm 0,7$ % i INT ($p < 0,01$) og med $2,0 \pm 1,2$ % i KON ($p < 0,05$) fra pre- til posttest. Økningen i INT var $1,3 \pm 1,3$ % større enn i KON ($P = 0,05$), men forskjellen tilsvarte kun en ubetydelig effektstørrelse (ES: 0,18) (figur 4.3A).

Kroppsvekt økte med $2,5 \pm 1,2$ % i INT ($p < 0,01$) og med $2,6 \pm 1,9$ % i KON ($p < 0,05$) fra pre- til posttest. Gruppeforskjellen var ubetydelig ($-0,1 \pm 2,1$ %; ES: $-0,01$) (figur 4.3B).

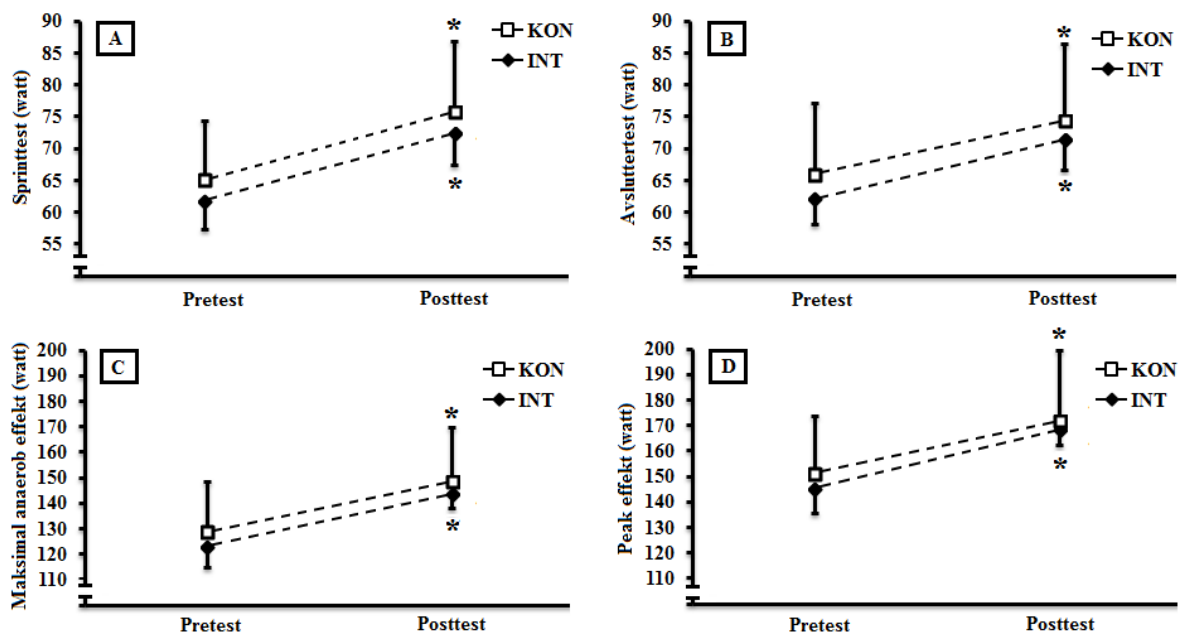


Figur 4.3: Armomkrets (A) og kroppsvekt (B) før og etter styrkeintervensjonen for intervensjonsgruppen (INT) ($n = 9$) og kontrollgruppen (KON) ($n = 7$). Data er gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall. * Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,05$). # Signifikant større endring fra pre- til posttest i INT sammenlignet med KON ($p = 0,05$).

4.4 Effektproduksjon staking

Effektproduksjonen på sprinttesten økte med $17,1 \pm 6,9$ % i INT ($p < 0,01$) og med $16,2 \pm 3,0$ % i KON ($p < 0,01$) fra pre- til posttest. Grufforforskjellen var ubetydelig ($0,8 \pm 6,3$ %; ES: 0,04) (figur 4.4A). Effektproduksjonen på avsluttertesten økte med $14,9 \pm 4,9$ % i INT ($p < 0,01$) og med $13,1 \pm 3,5$ % i KON ($p < 0,01$) fra pre- til posttest. Grufforforskjellen var ubetydelig ($1,6 \pm 5,0$ %; ES: 0,07) (figur 4.4B).

Maksimal anaerob effekt økte med $17,1 \pm 5,7$ % i INT ($p < 0,01$) og med $15,7 \pm 4,4$ % i KON ($p < 0,01$) fra pre- til posttest. Grufforforskjellen var ubetydelig ($1,2 \pm 5,9$ %; ES: 0,06) (figur 4.4C). Effekten på de tre høyeste påfølgende stakesyklusene på testen ("peak effekt") økte med $16,5 \pm 9,4$ % i INT ($p < 0,01$) og med $13,6 \pm 5,8$ % i KON ($p < 0,01$) fra pre- til posttest. Grufforforskjellen var ubetydelig ($2,5 \pm 9,2$ %; ES: 0,12) (figur 4.4D).



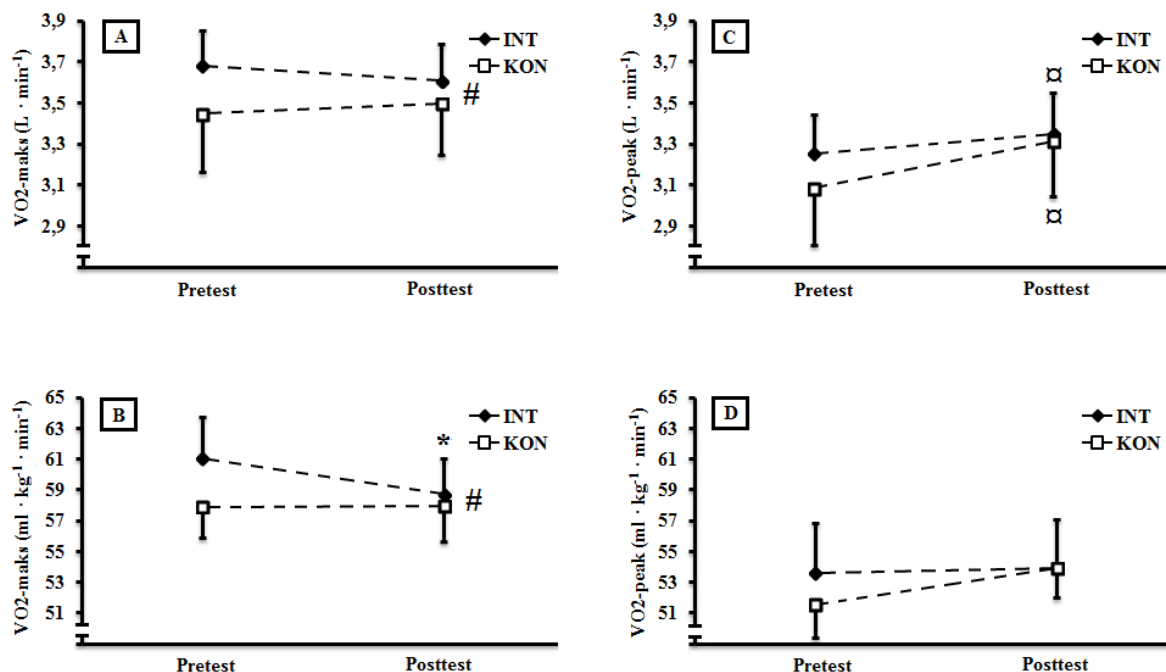
Figur 4.4: Pre- og posttest resultater for sprinttest (A), avsluttertest (B), maksimal anaerob effekt (C) og "peak effekt" (D). Data er gjennomsnitt og feilmargører viser 90 % konfidensintervall i negativ retning for intervensjonsgruppen (INT) ($n=9$) og i positiv retning for kontrollgruppen (KON) ($n=7$). *Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,01$).

Det var veldig høye til tilnærmet perfekte korrelasjoner mellom total effektproduksjon og kraftproduksjon (N) i hver stakesyklus på anstrengelsestestene ($r = 0,87 - 0,93$; $p < 0,01$). N per syklus økte signifikant fra pre- til posttest på de tre testene (ES: 0,38- 0,93; $p < 0,05$). Syklustid var uendret (vedlegg IV). Relativ endring i N per syklus korrelerte med relativ endring i effektproduksjon på de respektive testene ($r = 0,81 - 0,90$; $p < 0,01$).

4.5 Maksimalt oksygenopptak

VO₂-maks løping var uforandret i både INT (-2,0 ± 2,1 %) og KON (1,7 ± 3,5 %) oppgitt i absolutte verdier (L · min⁻¹), men INT hadde en liten negativ endring fra pre- til posttest sammenlignet med KON (-3,6 ± 3,7 %; p= 0,10; ES: -0,32) (figur 4.5A). Den relative verdien (ml · kg⁻¹ · min⁻¹) var redusert i INT (-3,7 ± 2,2 %; p<0,05), uforandret i KON (0,0 ± 2,8 %) og INT hadde en liten negativ endring fra pre- til posttest sammenlignet med KON (-3,7 ± 3,3 %; p= 0,06; ES: -0,48) (figur 4.5B).

Den høyeste VO₂-peak målingen i absolutte verdier (L · min⁻¹) på de to stakeprotokollene økte med 2,9 ± 2,8 % i INT (p<0,1) og med 7,7 ± 6,4 % i KON (p<0,1) fra pre- til posttest. INT hadde en liten negativ endring fra pre- til posttest sammenlignet med KON, dog ikke statistisk signifikant (-4,5 ± 6,1 %; p= 0,20; ES: -0,33) (figur 4.5C). De relative verdiene (ml · kg⁻¹ · min⁻¹) var uendret i INT (0,6 ± 1,9 %) og KON (4,7 ± 5,0 %), men INT hadde en liten negativ endring fra pre- til posttest sammenlignet med KON, dog ikke statistisk signifikant (-3,9 ± 4,8 %; p=0,13; ES:-0,42) (figur 4.5D).



Figur 4.5: Figur (A) og (B) viser VO₂-maks løping ved pre- og posttest, henholdsvis målt som L · min⁻¹ og ml · kg⁻¹ · min⁻¹ i intervensjonsgruppen (INT) (n= 9) og kontrollgruppen (KON) (n= 7). Figur (C) og (D) viser høyeste VO₂-peak fra de to staketestene ved pre- og posttest, henholdsvis målt som L · min⁻¹ og ml · kg⁻¹ · min⁻¹ i INT og KON. Verdiene er oppgitt som gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall i positiv retning for INT og i negativ retning for KON. * Signifikant forskjellig fra pretest (p<0,05). # Signifikant forskjellig fra pretest (p<0,1). # Signifikant forskjell i endring fra pre- til posttest mellom gruppene (p≤0,1).

4. Resultater

Relativ og absolutt endring i $VO_{2\text{-peak}}$ og $VO_{2\text{-maks}}$ fra pre- til posttest ble integrert som kovariater i ANCOVA modeller for å undersøke om de små gruppeforskjellene i favør av KON påvirket endringen på stakeergometertestene fra pre- til posttest. Det var likevel ingen forskjell mellom INT og KON på sprint- og avsluttertesten ($p > 0,5$ for alle modeller).

$VO_{2\text{-peak}}$ staking var $11,6 \pm 4,2$ % lavere enn $VO_{2\text{-maks}}$ løping ved pretest, endret seg signifikant gjennom intervensjonsperioden og var $7,6 \pm 5,3$ % lavere ved posttest for begge grupper slått sammen ($p < 0,01$). Denne endringen var konsistent også i separate gruppeanalyser ($p < 0,1$).

4.6 Anaerob kapasitet

Stigningstallet (a) og konstanten (b) på regresjonslinjen ($y = ax + b$) for å estimere O_2 -kravet på sprinttesten var statistisk uendret fra pre- til posttest i INT og KON. O_2 -kravet på sprinttesten økte signifikant fra pre- til posttest i både INT og KON, som en følge av økt effektproduksjon. $\sum O_2$ -opptak var statistisk uendret i INT og KON. $\sum O_2$ -underskudd økte med en liten effektstørrelse fra pre- til posttest i INT og KON, men var statistisk uendret pga. stor individuell variasjon (tabell 4.3). Det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom gruppene, men INT økte $\sum O_2$ -underskudd med en liten effektstørrelse fra pre- til posttest sammenlignet med KON (ES: 0,42).

Tabell 4.3: Oksygen (O_2)-krav, akkumulert (\sum) O_2 -opptak og $\sum O_2$ -underskudd på sprinttesten.

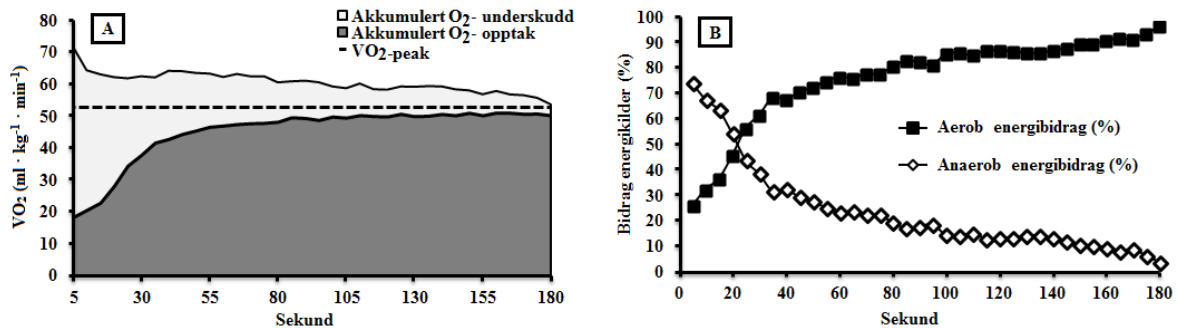
	Pretest (snitt \pm SD)	Posttest (snitt \pm SD)	Endring (%) (snitt \pm KI)	Effektstørrelse (Cohen's <i>d</i>)
Intervensjonsgruppe (n= 9)				
O_2 -krav ($ml \cdot kg^{-1}$)	$177,3 \pm 18,0$	$190,3 \pm 19$	$7,3 \pm 5,0^*$	0,63
$\sum O_2$ -opptak ($ml \cdot kg^{-1}$)	$138,9 \pm 15,5$	$137,0 \pm 11,2$	$-1,1 \pm 3,0$	-0,10
$\sum O_2$ -underskudd ($ml \cdot kg^{-1}$)	$38,2 \pm 16,3$	$52,9 \pm 15,2$	$35,2 \pm 41,3$	0,52
O_2 -underskudd (% av O_2 -krav)	21 ± 8	27 ± 6	$6 \pm 4^*$	0,68
Kontrollgruppe (n= 7)				
O_2 -krav ($ml \cdot kg^{-1}$)	$186,2 \pm 24,5$	$202,6 \pm 25,0$	$9,0 \pm 4,6^*$	0,55
$\sum O_2$ -opptak ($ml \cdot kg^{-1}$)	$131,1 \pm 9,6$	$136,6 \pm 7,0$	$4,4 \pm 6,0$	0,50
$\sum O_2$ -underskudd ($ml \cdot kg^{-1}$)	$55,3 \pm 17,3$	$65,9 \pm 22,7$	$18,1 \pm 23,8$	0,43
O_2 -underskudd (% av O_2 -krav)	29 ± 8	32 ± 8	3 ± 5	0,40

* Signifikant endring fra pre- til posttest ($p < 0,05$). SD: standardavvik. KI: 90 % konfidensintervall.

Som et snitt av alle deltagere økte $\sum O_2$ -underskudd fra $45,7 \pm 18,3$ $ml \cdot kg^{-1}$ til $58,6 \pm 19,3$ $ml \cdot kg^{-1}$ (28 %; $p < 0,01$) fra pre- og posttest. $\sum O_2$ -underskudd utgjorde $24,7 \pm 8,2$ % og

4. Resultater

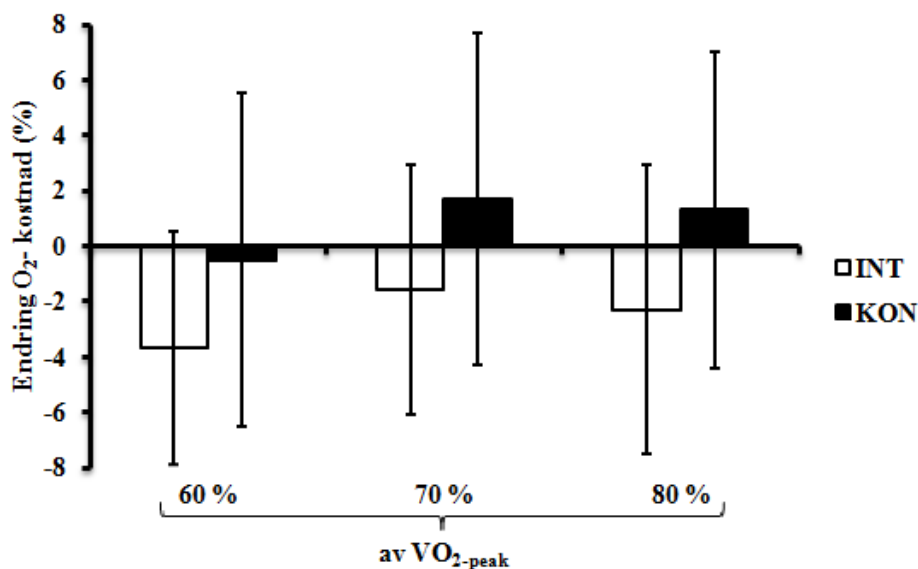
29,4 ± 6,8 % av den totale energiomsetningen på sprinttesten ved henholdsvis pre- og posttest. Fordeling mellom aerob og anaerob energibidrag gjennom sprinttesten på pretest fremstilles grafisk i figur 4.6.



Figur 4.6: Aerob og anaerob energibidrag satt i tidsperspektiv under sprinttesten. Data er hentet ut som et gjennomsnitt av alle deltagere i begge grupper (n= 16) fra pretesten i 5sek oppløsning. (A) viser verdier i ml · kg⁻¹ · min⁻¹ og (B) viser den relative fordelingen mellom de to energikildene.

4.7 Oksygenkostnad stakeergometer

INT reduserte O₂- kostnaden med ubetydelige til små effektstørrelser i forhold til KON på submaksimale belastninger i stakeergometeret fra pre- til posttest (ES: -0,18 til -0,31; p= 0,26- 0,45) (figur 4.7; vedlegg II). Det ble funnet en liten "VO₂- slow component" (økt O₂-kostnad gjennom protokollen) ved pre- og posttest på henholdsvis 1,8 % (p< 0,1) og 1,6 % (p<0,1) når gruppene ble slått sammen. "VO₂- slow component" var uendret fra pre- til posttest i begge grupper. Det var ingen signifikant forskjell mellom INT og KON i endring på kinematiske variabler på submaksimale belastninger fra pre- til posttest (vedlegg III).

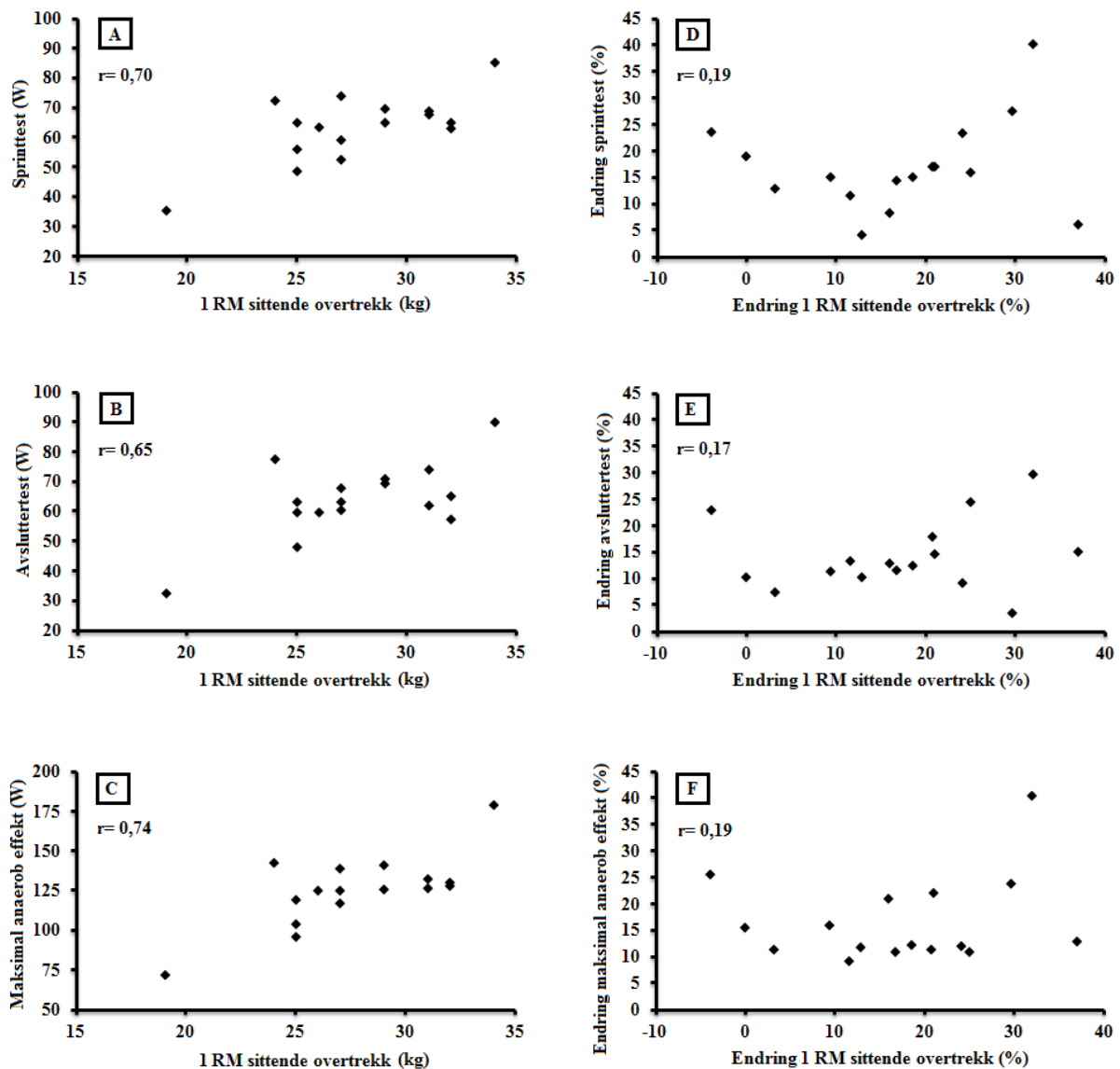


Figur 4.7: Relativ endring i oksygenkostnad (L · min⁻¹) i stakeergometeret fra pre- til posttest i intervensjonsgruppen (INT) og kontrollgruppen (KON). Data er gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall.

4.8 Sammenhenger

4.8.1 1 RM sittende overtrekk og prestasjon staking

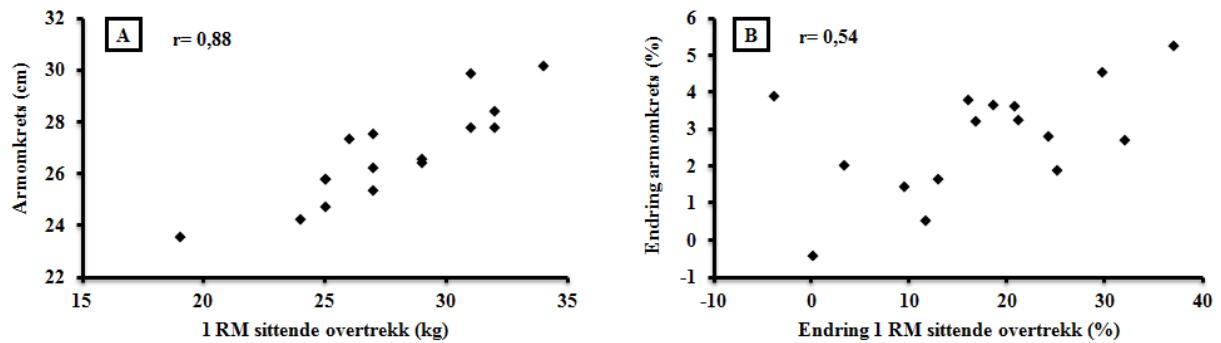
Det var høye til veldig høye korrelasjoner mellom 1 RM i sittende overtrekk og effektproduksjonen på sprinttesten, avsluttertesten og testen for maksimal anaerob effekt ved pretest ($r = 0,65 - 0,74$; $p < 0,01$) (figur 4.8 A-C). Det var derimot kun lave, usignifikante korrelasjoner mellom endring i 1 RM og endring i effektproduksjon fra pre- til posttest på de tre testene (figur 4.8 D- F).



Figur 4.8: Sammenheng mellom 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk og effektproduksjon (W: watt) på sprinttesten ($r = 0,70$; $p < 0,01$) (A), avsluttertesten ($r = 0,65$; $p < 0,01$) (B) og testen for maksimal anaerob effekt ($r = 0,74$; $p < 0,01$) (C). Figur D- F viser sammenhengen mellom prosentvis endring i 1 RM og prosentvis endring i effektproduksjon på de tre respektive testene fra pre- til posttest ($r = 0,17 - 0,19$) ($n = 16$).

4.8.2 1 RM sittende overtrekk og armomkrets

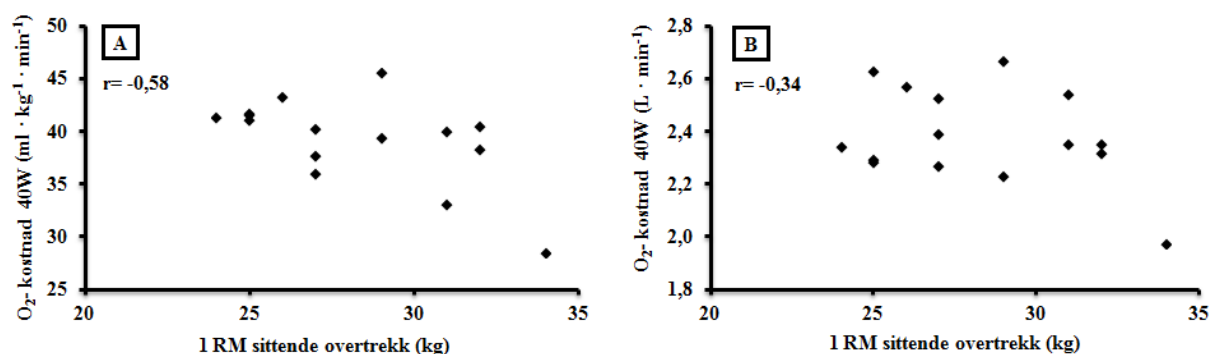
Det var veldig høy korrelasjon mellom omkretsen av overarmen og 1 RM i sittende overtrekk ved pretest ($r=0,88$; $p<0,01$) (figur 4.9A). Relativ endring fra pre- til posttest på de to variablene hadde også høy korrelasjon ($r=0,54$; $p<0,05$) (figur 4.9B).



Figur 4.9: (A) Sammenheng mellom omkrets av overarm og 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk ved pretest ($r=0,88$; $p<0,01$). (B) Sammenheng mellom relativ endring av de to variablene fra pre- til posttest ($r=0,54$; $p<0,05$) ($n=16$).

4.8.3 1 RM sittende overtrekk og oksygenkostnad i staking

Det var høy negativ korrelasjon mellom relativ O_2 -kostnad ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) i staking (40 W) og 1 RM i sittende overtrekk ved pretest ($r=-0,58$; $p<0,05$) (figur 4.10A). Det var derimot kun moderat negativ korrelasjon mellom 1 RM og O_2 -kostnad i absolutte verdier ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,34$) (figur 4.10B). Det var kun lav usignifikant korrelasjon mellom endring i 1 RM og endring i O_2 -kostnad fra pre- til posttest, både på bakgrunn av absolutte ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,11$) og relative verdier ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=0,16$).



Figur 4.10: Sammenheng mellom 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk og oksygen (O_2)-kostnad i stakerometeret (40 W). Oppgitt i relative ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,58$; $p<0,05$) (A) og absolutte verdier ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,34$) (B) ved pretest ($n=15$).

4. Resultater

4.8.4 Prestasjon og ergospirometriveriable

Tabell 4.4 viser sammenhengen mellom variabler fra ergospirometritesting og prestasjonstestene på pretest. Det var moderate til høye negative korrelasjoner mellom effektproduksjon på prestasjonstestene og O₂-kostnad i stakerometeret (r= -0,39 - -0,69) (tabell 4.4). Det var høye til veldig høye positive korrelasjoner mellom prestasjonen på sprint- og avsluttertesten og VO_{2-peak} staking og VO_{2-maks} løping i absolutte verdier (L · min⁻¹) (r= 0,52- 0,72; p< 0,05).

Tabell 4.4: Korrelasjonsmatrise over effektproduksjonen og variabler målt via ergospirometrisystemet under stakerometerettestene på pretest (n= 15- 16) (mangler 1 deltaker på oksygenkostnad 40 W, se metode).

Variabel	Sprinttest (W)		Avsluttertest (W)		Maksimal anaerob effekt (W)	
Oksygenkostnad 40W (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	-0,54	⊘	-0,61	⊘	-0,59	⊘
Oksygenkostnad 40W (L · min ⁻¹)	-0,39		-0,45	⊘	-0,52	⊘
VO _{2-peak} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹) (respektiv test)	0,19		0,32		-	
VO _{2-peak} (L · min ⁻¹) (respektiv test)	0,68	*	0,72	*	-	
VO _{2-peak} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹) (høyeste)	0,22		0,18		0,11	
VO _{2-peak} (L · min ⁻¹) (høyeste)	0,70	*	0,70	*	0,59	⊘
Utnyttelsesgrad (respektiv test)	-0,20		-0,02		-	
VO _{2-maks} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	-0,05		-0,01		-0,08	
VO _{2-maks} (L · min ⁻¹)	0,57	⊘	0,63	*	0,52	⊘
∑O ₂ - underskudd (ml) (respektiv test)	0,15		0,31		-	
∑ O ₂ - underskudd (ml · kg ⁻¹) (respektiv test)	-0,05		0,09		-	

W: watt. ∑: akkumulert. O₂: oksygen. Fargekoding for **veldig høy** og **høy** korrelasjon
 *Signifikant korrelasjon (p<0,01). ⊘ Signifikant korrelasjon (p<0,1).

4.8.5 Kroppsvekt

Kroppsvekt hadde høye til veldig høye korrelasjoner med 1 RM i sittende overtrekk ($r=0,69$; $p<0,01$), effektproduksjonen på sprinttesten ($r=0,68$; $p<0,01$), avsluttesten ($r=0,72$; $p<0,01$) og testen for maksimal anaerob effekt ($r=0,65$; $p<0,01$), samt $VO_{2\text{-maks}}$ ($r=0,73$; $p<0,01$) og $VO_{2\text{-peak}}$ ($r=0,66$; $p<0,01$) i absolutte verdier ($L \cdot \text{min}^{-1}$). Det var veldig høy negativ korrelasjon mellom kroppsvekt og relativ O_2 -kostnad i stakeergometeret ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,77$; $p<0,01$), men kun lav korrelasjon med absolutt O_2 -kostnad ($L \cdot \text{min}^{-1}$) ($r=-0,13$).

4.8.6 Multippel lineær regresjon for prediksjon av prestasjon

Stegvis multippel lineær regresjon viste at 92 % av resultatet på sprinttesten kunne forklares med variablene $VO_{2\text{-peak}}$ (ml), $\sum O_2$ -underskudd (ml) og O_2 -kostnad ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$) (40 W) i stakeergometeret ($r^2=0,92$; $p<0,01$) (tabell 4.5). De tre variablene gav samme determinasjonskoeffisient standardisert for kroppsvekt ($r^2=0,92$; $p<0,01$). VIF var under 1,7 i modellene (ingen evident kolinearitett mellom uavhengige variabler). De uavhengige variablene 1 RM i sittende overtrekk og kroppsvekt ble forsøkt integrert i modellene, men ble ekskludert, da de ikke økte prediktabiliteten signifikant.

Tabell 4.5: Multippel lineær regresjon for prediksjon av prestasjon på sprinttesten (watt; avhengig variabel). De uavhengige variablene er $VO_{2\text{-peak}}$ (ml) og akkumulert oksygenunderskudd (ml) målt på den respektive testen, og O_2 -kostnad på submaksimal belastning (40 W) ($n=15$).

	Ustandardisert koeffisients		Standardisert koeffisients	Signifikans	
	B	Std. Error	Beta	t	p<
Konstant	72,793	10,978		6,631	0,000
$VO_{2\text{-peak}}$ (sprinttest) (ml)	0,024	0,003	0,930	9,544	0,000
O_2 -kostnad (40 watt) ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$)	-0,041	0,005	-0,823	-8,550	0,000
$\sum O_2$ -underskudd (sprinttest) (ml)	0,005	0,001	0,564	6,122	0,000

\sum : akkumulert. O_2 : oksygen.

5. Diskusjon

Addering av maksimal styrketrening til det totale treningsvolumet økte den maksimale styrken og omkretsen av overarmen, men hadde kun liten til ubetydelig effekt på O₂-kostnad, maksimalt oksygenopptak, anaerob kapasitet og prestasjonen på kortvarige tester i et stakeergometer hos kvinnelige juniorlangrennsløpere.

5.1 Sammenheng mellom prestasjon og styrke

Tidligere er det funnet høye til nesten perfekte korrelasjoner mellom ulike prestasjonstester og evnen til å generere høy kraft og effekt i overkroppen (Alsobrook & Heil, 2009; Losnegard et al., 2011; Stöggl et al., 2007b). Dette samsvarer med funnene i vår studie. Imidlertid skyldes de høye til veldig høye korrelasjonene i figur 4.8 A- C at én deltaker var tydelig sterkere og én deltaker var tydelig svakere enn de resterende studiedeltakerne. Dersom de to "uteliggerne" ekskluderes fra analysene blir korrelasjonene kraftig redusert ($r = 0,12 - 0,35$). De to deltakerne kan imidlertid ha utgjort en del av den naturlige variasjonen på nivå i gruppen. Korrelasjonsanalysene indikerer således en viss sammenheng mellom maksimal styrke i overkropp og stakeprestasjon, og underbygger gjennomføringen av studien.

5.2 Endring i styrke og overarmomkrets

Begge gruppene økte 1 RM i sittende overtrekk fra pre- til posttest og økningen var signifikant større i INT sammenlignet med KON. Økningen i INT (24 %) er i øvre området av hva som er funnet tidligere på overkroppsovelser hos langrennsløpere (10- 23 %) (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Og kan sees i sammenheng med den tette oppfølgingen av INT og den høye gjennomføringsprosenten på treningsøktene (98 %). Deltakerne var i utgangspunktet godt trent, men da spesifikt rettet mot kondisjon og utholdenhet, og de hadde lite erfaring med tung styrketrening. Fremgangen i 1 RM tilsvarer en økning på ~1,2 % per treningsøkt, noe som samsvarer med hva man kan forvente for individer som er "utrente" når det gjelder styrke (Raastad et al., 2010, adaptert fra Kraemer et al., 2002).

Økningen i 1 RM i KON var overraskende stor (8 %). Differansen i registrert 1 RM fra tilvenningsøktene før pre- og posttest og selve testene var på henholdsvis 2,0 % og 0,2 % (vedlegg V). Dette indikerer at økningen i KON alene ikke kan tilskrives en læringseffekt

på 1 RM- testen. Økt 1 RM i KON kan være en effekt av trening og modning. Deltakerne var 16- 19 år og sannsynligvis ikke ferdige utvokst. Kroppsvekten økte ~1,5 kg i begge grupper gjennom intervensjonsperioden, noe som kan skyldes økt muskelmasse. Dette underbygges av omkretsen av overarmene, der både INT og KON økte signifikant fra pre- til posttest. Økt 1 RM i KON kan også skyldes spesifikk langrennstrening, da overkroppsmuskulatur belastes i stor grad ved de ulike langrensteknikkene (Bojsen-Møller et al., 2010; Calbet et al., 2005; Smith, Kvamme, & Jakobsen, 2009). KON trente også ~1,5 time med generell styrketrening i uken, og styrketrening med motstand helt ned mot 15 % av 1 RM kan potensielt gi økt maksimal styrke (Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997). Mesteparten av den generelle styrketreningen var imidlertid basisstyrke i form av matteøvelser og slyngetrening, og generell styrketrening på overkropp ble gjennomført i lite omfang (muntlig meddelelse og observasjon). Økt 1 RM i KON samsvarer med kontrollgruppene i noen studier (Losnegard et al., 2011; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007), men har vært uforandret i andre (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Deltakerne i vår studie er av de yngste en slik type studie har blitt gjennomført på, og en eventuell modningseffekt fra pre- til posttest kan dermed være en av årsakene til økt 1 RM i KON.

Det ble funnet signifikant større økning i omkretsen av overarmene fra pre- til posttest i INT sammenlignet med KON, men forskjellen tilsvarte kun en ubetydelig effektstørrelse. Metoden er lite sensitiv og variasjonskoeffisienten til metoden og testleder ble ikke undersøkt. Derfor må resultatene vurderes kritisk. Likevel var korrelasjonen mellom omkrets av overarm og 1 RM i sittende overtrekk veldig høy ved pretest ($r=0,88$). Dette samsvarer med Losnegard et al. (2011), som fant nesten perfekt korrelasjon mellom 1 RM i samme øvelse og muskeltverrsnitt av triceps brachii ($r=0,91$). Det var også høy signifikant korrelasjon mellom relativ endring i 1 RM i sittende overtrekk og relativ endring i omkrets av overarm fra pre- til posttest. Losnegard et al. (2011) fant ingen signifikant sammenheng mellom økning i muskeltverrsnitt og økning i 1 RM (upublisert, hentet fra: Losnegard, 2008). Dette kan skyldes at en stor andel av styrkeøkning tidlig i styrkeintervensjoner forklares med nevralt tilpassninger (Chilibeck, Calder, Sale, & Webber, 1998). Nevrale tilpassninger antas å ha forekommet også i vår studie, da omkretsen av overarmen økte med kun 3,3 % i INT og siden treningsmotstanden indikerte rask økning i muskelstyrke de første 2- 3 ukene. På en annen side vil en gitt økningen i omkretsen av overarmen indikere en høyere relativ økning i tverrsnittsarealet av triceps brachii isolert. Dette forklares med at

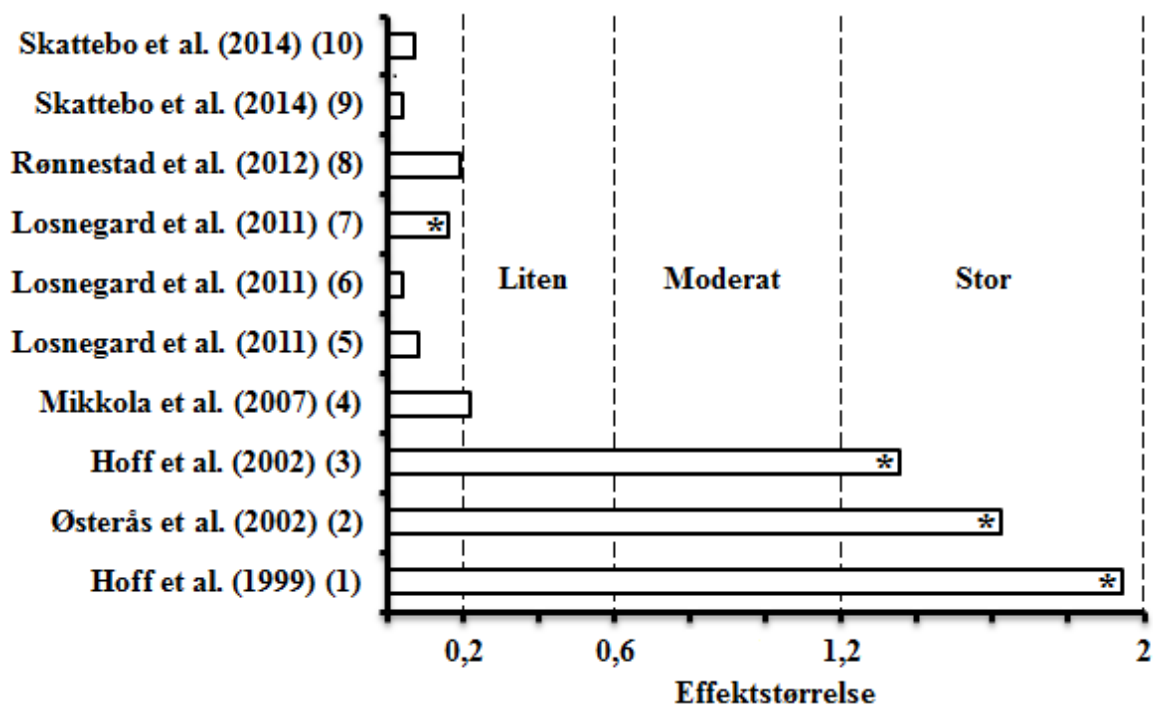
albuefleksorene ikke ble spesifikt trent og økte sannsynligvis ikke omkretsen. Omkretsen av humerus vil være konstant. Dersom man antar at fettmassen forble den samme vil økningen i omkretsen av overarmen utgjøre en relativt større økning av triceps brachii. En gitt relativ økning i muskelmasse kan også potensielt gi en relativt større økning i muskelstyrke. Det spekuleres i om det kan forekomme kvalitative endringer i muskelfibrene (D. A. Jones et al., 1989), og om muskelfibrene kan øke sitt tverrsnitt på bekostning av ekstracellulært rom (Goldspink & Harridge, 2003). Man må også ha i bakhodet at andre muskler som latisimus dorsi i aller høyeste grad aktiveres i øvelsen sittende overtrekk, og ble ikke kontrollert i vår studie.

Oppsummert hadde intervensjonen god effekt på maksimal styrke, sannsynligvis på grunn av kombinasjon av nevrologiske og muskulære adaptasjoner. Kontrollgruppen økte imidlertid muskelstyrken noe mer enn forventet.

5.3 Effekten av styrketrening på prestasjon

INT forbedret ikke prestasjonen mer enn KON. Årsakene kan være at den maksimale styrken ikke var begrensende, at styrkeintervensjonen ikke var optimal, eller at maksimal styrke er mindre viktig for prestasjonen i staking enn tidligere antatt.

Den fraværende effekten av maksimal styrketrening på prestasjon i vår studie samsvarer med noen tidligere studier (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012), mens det er funnet effekt i andre studier (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Østeras et al., 2002). Losnegard et al. (2011) fant en forskjell mellom styrke- og kontrollgruppen på en 5 min lang prestasjonstest i stakeergometer, men ikke på to testløp i motbakke i skøyting og staking. En rekalkulering av endringene på stakeergometertesten i Losnegard et al. (2011) gav imidlertid en effektstørrelse på kun 0,16 av å trene maksimal styrketrening. Effektstørrelsen var altså ubetydelig, selv om forskjellen mellom styrke- og kontrollgruppen var statistisk signifikant (figur 5.1). Det kan dermed argumenteres for at Losnegard et al. (2011) heller ikke fant noen effekt av maksimal styrketrening på prestasjon. Årsakene til de splittende funnene kan bl.a. skyldes ulike intervensjoner, karakteristikker av deltakere og tester som ble benyttet.



Figur 5.1: Effektstørrelse av prestasjonsendring i styrke- sammenlignet med kontrollgruppen i vår studie og tidligere studier. Testene er tid til utmattelse på stakeergometer (1- 3), distanse rulleski (4, 5, 6, 8) og effektproduksjon på stakeergometer (7, 9, 10). * Signifikant større endring i styrke- sammenlignet med kontrollgruppen fra pre- til posttest ($p < 0,05$). Utregninger forklares i tabell 2.1.

Hoff et al. (1999), Hoff et al. (2002) og Østerås et al. (2002) brukte det samme stakeergometeret og målte prestasjon som TTU. Effektstørrelsen av endring fra pre- til posttest er mye høyere i de overnevnte studiene enn i de resterende studiene (tabell 2.1). Prestasjonsendringene kan forklares med at det er vanlig å finne større endring i TTU, enn i f.eks. tid på en gitt distanse (Hinckson & Hopkins, 2005; Hopkins, Schabert, & Hawley, 2001). Det er også funnet noe lav reliabilitet ved TTU (Billat, Renoux, Pinoteau, Petit, & Koralsztein, 1994; Bosquet, Leger, & Legros, 2002). Hopkins et al. (2001) mener imidlertid at den store variasjonskoeffisienten funnet i TTU ikke indikerer lav reliabilitet, men er et resultat av at selv en liten endring i effektproduksjon utgjør en stor endring i TTU. Tilvenning ble ikke gjennomført i de tre studiene (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Østerås et al., 2002), noe som også kan ha forårsaket de store endringene. TTU tester krever imidlertid mindre tilvenning enn for eksempel time trial, siden testdeltakerne i seg selv ikke styrer "pacingen" (Hopkins et al., 2001). Testtypen benyttet og en mangelfull tilvenning svekker resultatene i de tre studiene. Likevel endrer det ikke det faktum at styrkegruppene forbedret seg signifikant mer på prestasjonstesten i forhold til kontrollgruppene, og hvor forskjellene tilsvarte store effektstørrelser (figur 5.1). Årsaken

til de forskjellige funnene sammenlignet med vår studie og de andre studiene (figur 5.1) er uklar. Treningsfrekvensen i de tre studiene var høyere enn i vår studie (3 v. s. 2 g/ u), men på grunn av kun én øvelse og tre sett per øvelse var antall sett per uke kun halvparten sammenlignet med vår studie (9 v. s. 18 sett).

Det kan spekuleres i om deltakerne allerede var sterke nok, eller om høy maksimal styrke ikke er nødvendig for å prestere optimalt i staking. Selv om økt 1 RM kan redusere den relative muskulære belastningen under en stakesyklus på en gitt arbeidsbelastning, kan "reservekapasiteten" i muskelstyrke allerede være stor nok i utgangspunktet. Er dette tilfellet vil ikke økt 1 RM forbedre prestasjonen. Man kan imidlertid ikke utelukke at intervensjonen var for kort til få gunstige adaptasjoner som økt muskelmasse og fibertypeoverganger (type IIX → type IIA), og at man kunne sett en effekt av styrketrening på prestasjon etter en lengre intervensjonsperiode.

Dudley og Djamil (1985) fant at fremgangen i isokinetisk styrke ble redusert i vesentlig større grad på høye sammenlignet med lave vinkelhastigheter i gruppen som kombinerte styrke- og kondisjonstrening, sammenlignet med kun styrketrening. På bakgrunn av dette og andre funn hevdes det at kombinert styrke- og kondisjonstrening, sammenlignet med kun styrketrening reduserer potensialet for å øke effektutvikling i større grad enn maksimal styrke (Raastad et al., 2010). Det høye volumet av kondisjonstrening kan dermed være årsaken til at INT ikke forbedret effektutvikling målt på stakergometer sammenlignet med KON, selv om økningen i maksimal styrke var betydelig. Dette leder oss inn på et sentralt spørsmål. Kan effekten av styrketrening på langrennsprestasjon økes ved å bytte ut maksimal styrketrening med eksplosiv styrketrening, eller ved å kombinere disse treningsformene?

De fleste tidligere studier har benyttet 3- 10 RM motstand og trent med maksimal mobilisering (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Dette regnes tradisjonelt som maksimal styrketrening og hypertrofitrening (Raastad et al., 2010). Kun Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007) benyttet eksplosiv styrketrening, men kombinerte treningsformen med hurtighetstrening. Prestasjonen på 2 km distanse i staking økte heller ikke i den studien. En rekalkulering av endringen på prestasjonstesten gav imidlertid en liten effektstørrelse (ES: 0,22) i favør styrkegruppen (tabell 2.1; figur 5.1).

Det er flere argumenter for at man bør undersøke effekten av eksplosiv styrketrening i stedet for maksimal styrketrening, eller en kombinasjon. Under sprint- og avsluttesten var arbeidsfasen under stakesyklusene ~0,3 sek (vedlegg IV), noe som samsvarer godt med staking på rulleskimølle (Holmberg et al., 2005; Lindinger, Stöggl, Müller, & Holmberg, 2009) og snø ved høye hastigheter (Mikkola, Laaksonen, Holmberg, Nummela, & Linnamo, 2013). Arbeidsfasen i staking er dermed betydelig raskere enn arbeidsfasen under én repetisjon i styrkeøvelsene ved maksimal styrketrening (1-2 sek). Således vil eksplosiv styrketrening, der arbeidsfasen gjennomføres raskere sammenlignet med maksimal styrketrening, ligne mer på muskelarbeidet i overkroppen under en stakesyklus. Maksimal styrketrening i starten, for deretter å trene eksplosiv styrketrening, kan teoretisk sett være hensiktsmessig. Dette må imidlertid undersøkes nærmere før man kan anbefale et slik type treningsprogram.

INT og KON trente henholdsvis ~14 t og ~13 t i uken, noe som er mye for juniorkvinner. Totalbelastningen var også meget stor med tanke på at alle deltakerne gikk på videregående skole eller høyskole. Jo større treningsvolumet er, jo lavere andel vil en viss mengde styrketrening utgjøre. Dermed kan en eventuell prestasjonsfremmende effekt av styrketrening muligens utebli når det totale treningsvolumet blir høyt. Ser man spesifikt på studiene som har funnet betydelig effekt av styrketrening på prestasjon, er det konsekvent at de har hatt lavere totalt antall treningstimer i uken sammenlignet med vår studie (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999), eller at styrkegruppen har trent mer enn kontrollgruppen (Østeras et al., 2002). I Østeras et al. (2002) var volumet av høyintensiv trening det samme, derimot trente styrkegruppen 3 t mer lavintensiv kondisjonstrening i uken sammenlignet med kontrollgruppen. Dette tilsvarer 27 t over den 9 uker lange intervensjonsperioden. Forskjellen gjør at man kan stille spørsmål om det var styrketreningen, kondisjonstreningen, eller en kombinasjon som forårsaket prestasjonsforbedring i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen.

Det kan også spekuleres i om det totale treningsvolumet i vår studie var for høyt, spesielt i INT som trente ~1 t mer i uken enn KON. Muntlig kommunikasjon med deltakernes respektive trenere gav indikasjoner på at noen av deltakerne hadde mangel på overskudd mot slutten av intervensjonsperioden. Tilføring av trening i en eller annen form, uten å redusere annen type trening, vil medføre forkortet restitusjonstid og potensielt mindre fysisk og mentalt overskudd. Likevel er det ikke noe ukjent fenomen at langrennsløpere

som spesialiserer seg i sprint, tilfører styrke- og hurtighetstrening uten at det går på bekostning av mengden kondisjonstrening (Losnegard & Hallén, 2014b).

Det var større spredning i prestasjonsfremgang fra pre- til posttest i INT sammenlignet med KON (indikert av konfidensintervall på relativ endring). Stor spredning i en intervensjonsgruppe tyder på individuell respons, hvor noen i INT potensielt kan ha fått en prestasjonsforbedring av den maksimale styrketreningen. Den større variasjonen tyder imidlertid også på at noen potensielt kan ha respondert negativt i INT, siden den gjennomsnittlige fremgangen var tilsvarende i INT og KON.

5.4 Endring av maksimal anaerob effekt

INT forbedret ikke prestasjonen mer enn KON over 20 sek i stakeergometeret, noe som samsvarer med Losnegard et al. (2011). Stöggl, Müller, Ainegren, og Holmberg (2011) har argumentert for at det ikke nødvendigvis er de med høyest maksimal- og eksplosiv styrke som oppnår høyest maksimalhastighet i langrenn. Koordinering og "timing" av kraftutvikling i de komplekse bevegelsesmønstrene, altså teknikk, er vel så viktig. Dette underbygges med at de fant lengst tid til maksimalkraft gjennom staven hos individene med høyest maksimalhastighet i staking og diagonalgang. Og forklares med at mer av de vertikale kreftene gjennom staven blir overført til fremdriftskrefter sent i en stakesyklus, når vinkelen mellom stav og underlag er liten og mer gunstig. Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007) fant imidlertid en signifikant bedret tid på 30 m staking i styrkegruppen, og hvor endringen var på grensen til signifikant forskjellig fra kontrollgruppen. Årsaken til forskjellen fra vår studie og Losnegard et al. (2011) kan skyldes at det ble trent eksplosiv styrketrening og hurtighetstrening, bestående av bl.a. staking på rulleski, i Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007).

5.5 Kinematikk prestasjonstester

Kraftproduksjon (N) i hver stakesyklus økte signifikant fra pre- til posttest på prestasjonstestene i INT og KON. Det var også veldig høy til tilnærmet perfekt korrelasjon mellom endring i kraftproduksjon i hver stakesyklus og endring i effektproduksjon på prestasjonstestene. Økt prestasjonsevne kom dermed av økt kraftproduksjon i hver stakesyklus, da syklustid var uendret og da forholdet mellom arbeidsfase og restitusjonsfase var tilnærmet uforandret. Dette samsvarer med Losnegard et al. (2011), hvor både styrke- og kontrollgruppen økte gjennomsnittlig effektproduksjon på en 5 min

stakeergometeret og hvor stakefrekvensen var uforandret. Losnegard et al. (2011) og vår studie motstrider teoriene til Hoff et al. (1999), som mente at maksimal styrketrening endret kinematikken i staking. Hoff et al. (1999) fant imidlertid redusert tid til maksimalkraft under stakesyklusene på prestasjonstesten i styrkegruppen, men ikke i kontrollgruppen. Dette ble benyttet som et argument for en forlenget restitusjonsfase som en følge av maksimal styrketrening. Det stilles imidlertid spørsmål til hvordan tid til maksimalkraft ble målt i Hoff et al. (1999), da det tok ca. 0,4 sek til maksimalkraft under stakesyklusen på prestasjonstesten. I nyere biomekaniske studier er det funnet kortere tid til maksimalkraft (~0,1- 0,2 sek) under et bredt spekter av hastigheter i staking, helt ned mot submaksimale belastninger på 9 km/ t (Holmberg et al., 2005; Lindinger, Stöggl, et al., 2009). Dette kan indikere en meget ulik staketeknikk på stakeergometeret benyttet i Hoff et al. (1999) sammenlignet med staking på rulleski.

5.6 Maksimale oksygenopptak

Deltakernes $VO_{2\text{-maks}}$ (~60 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) i vår studie var meget høyt med tanke på deres kjønn og alder, var tilnærmet likt som kvinnene i Losnegard et al. (2011) og noe høyere enn i Hoff et al. (1999). Resultatene er dermed overførbare til andre langrennsløpere med samme karakteristikk på høyt nivå.

$VO_{2\text{-maks}}$ og $VO_{2\text{-peak}}$ endret seg lite gjennom intervansjonen i både INT og KON, noe som kan skyldes de høye verdiene ved studiestart. Volumet av LIT var høyt og volumet av HIT var forholdsvis lavt gjennom intervansjonen. Ofte får godt trente utøvere størst endring i kondisjon gjennom perioder med mye HIT og små endringer ved stort volum av LIT (Laursen & Jenkins, 2002; Londeree, 1997). Det er imidlertid lite dokumentasjon på dette hos elite- utøvere. Liten endring av kondisjon gjennom høsttreningen samsvarer med funnene hos langrennsløpere i tidligere studier, selv ved et betydelig volum av kondisjonstrening (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Losnegard et al., 2013; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012; Østeras et al., 2002). Det er naturlig å forvente mindre endringer i kondisjon hos utøvere på høyt nivå sammenlignet med utrente og moderat trente, da de allerede har "hentet ut" mye av deres potensial. Det var imidlertid noe overraskende at INT utviklet seg negativt sammenlignet med KON gjennom intervansjonsperioden, selv om volumet av kondisjonstrening var tilnærmet likt. Restitusjonstiden er forholdsvis lang etter tung styrketrening. Det er vanlig å

se redusert muskelfunksjon i ca. 48 t etter styrketrening, og hvor tap av muskelfunksjon avhenger av treningsstatus, belastning på treningsøkten og gjennom individuell variasjon (Raastad & Hallén, 2000; Raastad et al., 2010; Raastad, Risøy, Benestad, Fjeld, & Hallén, 2003). Således kan det spekuleres i om styrketreningen gikk utover kvaliteten på kondisjonstreningen i tiden under restitusjonsforløpet i INT.

Den lille forskjellen i endring av kondisjon mellom INT og KON kan også ha forekommet tilfeldig. Man kan spekulere i om denne endringen kan ha påvirket resultatet på sprint- og avsluttertesten ved å "maskere" en eventuell prestasjonsfremmende effekt av den maksimale styrketreningen. Imidlertid, selv når man justerte for endringene i $VO_{2\text{-maks}}$ og $VO_{2\text{-peak}}$ som kovariater, ble det ikke funnet noen forskjell mellom INT og KON i endring fra pre- til posttest på prestasjonstestene (ANCOVA). Dette forsterker antagelsen om en minimal effekt av maksimal styrketrening på kortvarige prestasjonstester i langrenn.

Ved pretest var $VO_{2\text{-peak}}$ staking ~12 % lavere enn $VO_{2\text{-maks}}$ løping, noe som samsvarer med tidligere studier (Holmberg et al., 2007; Losnegard, Schäfer, & Hallén, 2014; Sandbakk et al., 2014). Dette kan tyde på at overkroppsmuskulatur har lavere evne til å ta opp og omsette oksygen enn beinmuskulatur. En antagelse som forsterkes av studier som har undersøkt O_2 - opptak isolert i armer og bein (Calbet et al., 2005; Rud et al., 2013). Imidlertid var $VO_{2\text{-peak}}$ staking "bare" ~8 % lavere enn $VO_{2\text{-maks}}$ løping ved posttest. Dette kan tyde på at langrennsløpere utnytter mer av sin maksimale kapasitet til å ta opp og omsette oksygen i en spesifikk bevegelsesform nærmere konkurransesesongen. Dette indikeres også i en tidligere studie (Mygind, Larsson, & Klausen, 1991). Det kan spekuleres i om utøverne trente mer spesifikk langrennstrening i perioden studien foregikk sammenlignet med perioden før, noe som kan ha forårsaket denne endringen. Treningsdagbøker før studiestart ble imidlertid ikke samlet inn. Likevel er det viktig å ta dette til etteraktning og dermed bruke idrettsspesifikke tester når man skal vurdere utvikling av kondisjon gjennom en treningsperiode. Altså teste O_2 - opptaket ved klassisk- og skøyteteknikker i stedet for løping for langrennsløpere.

5.7 Oksygenkostnad

Selv om det var moderate til høye negative korrelasjoner mellom 1 RM i sittende overtrekk og O_2 - kostnad i staking ved pretest, ble det ikke funnet noen sammenheng mellom endring

av de to variablene fra pre- til posttest. Det ble heller ikke funnet noen signifikant forskjell mellom INT og KON i endring av O_2 -kostnad fra pre- til posttest. Den uteblitte effekten av styrketrening på O_2 -kostnad i langrenn samsvarer med noen tidligere studier (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012). Derimot har andre funnet (Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al., 2007; Østeras et al., 2002) og påstått at de har funnet (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999) en reduksjon i O_2 -kostnad som følge av styrketrening.

Forskjellen mellom studiene kan muligens tilskrives ulike metodiske tilnærminger. Hoff et al. (1999) målte O_2 -kostnad som O_2 -opptak under en tid til utmattelsestest på maksimal aerob hastighet. Og Hoff et al. (2002) målte O_2 -kostnaden på en høy submaksimal belastning som et gjennomsnitt av O_2 -opptaket mellom 1,5 og 2 min etter belastningsendring. O_2 -opptaket på submaksimale belastninger flater ut ca. 3 min etter belastningsendring og O_2 -opptaket vil gradvis drives mot $VO_{2\text{-maks}}$ på maksimal aerob hastighet (A. M. Jones et al., 2011; Poole, Ward, Gardner, & Whipp, 1988; Whipp & Wasserman, 1972). Reduksjonen av oppgitt " O_2 -kostnad" i styrkegruppene i Hoff et al. (1999) og Hoff et al. (2002) var på henholdsvis 23 % og 27 %. Dette virker usannsynlig høyt, da det er funnet en sesongvariasjon på kun ~3 % i O_2 -kostnad i en studie som fulgte langrennsløpere gjennom en hel sesong (Losnegard et al., 2013). Summert opp kan det argumenteres for at Hoff et al. (1999) og Hoff et al. (2002) ikke benyttet valide metoder for å måle O_2 -kostnad.

I to av studiene som har målt O_2 -kostnad tilsvarende vår studie og oppnådd "steady state" er det imidlertid ikke funnet noen effekt av maksimal styrketrening (Losnegard et al., 2011; Rønnestad, Kojedal, et al., 2012). I Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, et al. (2007) reduserte kun styrkegruppen O_2 -kostnad i staking, men endringen gjennom intervensjonsperioden var ikke signifikant forskjellig fra kontrollgruppen. Det skal også nevnes at styrkegruppen trente eksplosiv styrketrening og langrennsspesifikk hurtighetstrening. Man kan ikke se bort ifra at disse treningsformene muligens gir større effekt på O_2 -kostnad enn maksimal styrketrening. I Østeras et al. (2002) var det også kun styrkegruppen som reduserte O_2 -kostnad signifikant. Men heller ikke her ble det funnet signifikant forskjell mellom styrke- og kontrollgruppen. Det er også noe uklart hvordan O_2 -kostnad ble målt, siden dette ikke beskrives.

Det skal nevnes at det ble funnet små effektstørrelser i endring av O_2 -kostnad i INT sammenlignet med KON på flere submaksimale belastninger i stakeergometeret. Intervensjonen varte kun 10 uker og det kan ikke utelukkes at man kan finne større effekt av styrketreningen over en lengre tidsperiode. Det ble imidlertid også funnet en effektstørrelse på -0,19 mellom gruppene i O_2 -kostnad for løping (data ikke vist). Intervensjonen inneholdt kun styrketrening på overkropp og skulle i prinsippet ikke hatt noen effekt på O_2 -kostnad i løping. Dermed er det sannsynlig at den lille effektstørrelsen i INT sammenlignet med KON i endring av O_2 -kostnad i staking også var tilfeldig.

Det ble funnet en liten "VO₂ slow component" på stakeprotokoll 2. Denne økningen i O_2 -kostnad var på underkant 2 % og ble ikke påvirket gjennom intervensjonsperioden for verken INT eller KON. Dette står i motsetning til en tidligere sykkelstudie, hvor økt O_2 -kostnad gjennom en langvarig protokoll ble redusert i etterkant av samtidig styrke- og kondisjonstrening sammenlignet med kun kondisjonstrening (Rønnestad et al., 2011). Det skal sies at sykkelprotokollen hadde en varighet på 3 t og at den opprinnelige økningen i O_2 -kostnad gjennom protokollen på pretest var noe høyere enn funnet i vår studie. Stakeprotokoll 2 måtte dermed hatt lengre varighet eller høyere belastning for å fremprovosere en større "VO₂- slow component". Årsaken til varighet på protokoll var på bakgrunn av målgruppens konkurranselengde i reelle konkurransesituasjoner. Pilottesting viste også at flere i målgruppen ikke klarte å fullføre protokollen ved høyere submaksimale belastninger.

Maksimal styrketrening endret ikke kinematikken i staking på submaksimale belastninger og samsvarer med en uendret O_2 -kostnad. Tidligere intervensjonsstudier har ikke presentert utfyllende kinematiske data på submaksimale belastninger. Flere nyere tverrsnittstudier har imidlertid undersøkt kinematikken i staking på rulleski (Holmberg et al., 2005; Lindinger, Stöggl, et al., 2009). Grunnet bruken av stakeergometer i vår studie er det noe utfordrende å sammenligne. Likevel samsvarer arbeidstiden og restitusjonstiden oppgitt som prosent av syklustid godt i vår studie med tverrsnittstudiene. Restitusjonstiden var 59- 72 % av total syklustid og økte ved økende hastighet i Lindinger, Stöggl, et al. (2009). Her var restitusjonstiden 62- 69 % av total syklustid på submaksimale belastninger og økte med økende effektproduksjon på stakeergometeret (vedlegg III).

5.8 Anaerob kapasitet

På pretest hadde INT og KON samlet et $\sum O_2$ - underskudd på $45,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$, noe som utgjorde 24,7 % av den totale energiomsetningen på sprinttesten. Dette er lavere enn funnet i Losnegard et al. (2012) ($\sim 60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$), men tilnærmet tilsvarende som kvinnene i McGawley og Holmberg (2014) ($\sim 41 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$). Losnegard et al. (2012) benyttet kun menn og målte i V1 og V2 skøyteteknikk. Dette forklarer de høyere verdiene, da menn har en høyere anaerob kapasitet enn kvinner, selv normalisert for aktiv muskelmasse (Weber & Schneider, 2000; Weyand, Cureton, Conley, & Higbie, 1993). Det er også antatt at anaerob kapasitet er større for arbeid som inkluderer mye muskelmasse (V1 og V2 v. s. staking) (Bangsbo et al., 1990; Bangsbo et al., 1993; Medbø et al., 1988). Relativt anaerob energibidrag på protokollen i vår studie var meget likt som Losnegard et al. (2012) og McGawley og Holmberg (2014), hvor protokollene hadde tilnærmet lik varighet. Og samsvarer også godt med studier på sykkel og løping (Gastin, 2001).

$\sum O_2$ - underskudd endret seg med $\sim 35 \%$ og $\sim 18 \%$ for henholdsvis INT og KON fra pre-til posttest, men var statistisk uforandret pga. stor individuell variasjon. Forskjellen mellom gruppene var ikke statistisk signifikant og tilsvarte kun en liten effektstørrelse. Det kan spekuleres i om effekten av styrketrening på anaerob kapasitet kan bli større over en lengre treningsperiode gjennom økt muskelmasse, siden studien kun varte 10 uker. For INT og KON samlet var det en signifikant økning i $\sum O_2$ - underskudd på $\sim 28 \%$ gjennom perioden. Den økte effektproduksjonen på prestasjonstestene i vår studie kan dermed ha kommet som en følge av økt $\sum O_2$ - underskudd, siden kondisjon og O_2 - kostnad kun endret seg med små til ubetydelige effektstørrelser. Dette samsvarer med Losnegard et al. (2013), hvor $\sum O_2$ - underskudd økte med $\sim 25 \%$ fra tidlig sommer til høst/ vinter, og forklarte sammen med redusert O_2 - kostnad en forbedret prestasjonsevne. Man må imidlertid vurdere tallene på $\sum O_2$ - underskudd kritisk. Metoden som benyttes for å regne ut dette estimatet av anaerob kapasitet er spekulativ og har flere svakheter (Bangsbo, 1996; Medbø, 1996; Noordhof et al., 2010).

5.9 Sammenhenger

De høyeste korrelasjonene mellom prestasjonstestene og ergospirometriveriablene ble funnet med $VO_{2\text{-peak}}$ staking og $VO_{2\text{-maks}}$ løping i absolutte verdier, hvor korrelasjonene var høye til veldig høye. Det var også høye til veldig høye korrelasjoner mellom kroppsvekt og effektproduksjon på de tre prestasjonstestene. Dette kan forklares med at de med høy

kroppsvekt også hadde høy $VO_{2\text{-peak}}$ og $VO_{2\text{-maks}}$ i absolutte verdier. Korrelasjonene med effektproduksjon på prestasjonstestene var imidlertid kun lave til ubetydelige når $VO_{2\text{-maks}}$ og $VO_{2\text{-peak}}$ ble standardisert for kroppsvekt. Dette forklares med at man ikke forflytter kroppsmassen i et stakeergometer, og er en av de store forskjellene fra utendørs skigåing hvor kroppsmassen i større grad kan påvirke prestasjonen. Sandbakk, Ettema, et al. (2011) fant imidlertid veldig høy korrelasjon mellom simulert sprintprestasjon og $VO_{2\text{-maks}}$, oppgitt i både absolutte verdier og standardisert for kroppsvekt. Det er likevel noe uklar sammenheng mellom $VO_{2\text{-maks}}$ og simulert sprintprestasjon i andre studier (Losnegard et al., 2012). Det er funnet større prestasjonsfall fra første til fjerde heat i en simulert sprintkonkurranse hos de med laveste $VO_{2\text{-maks}}$, sammenlignet med de med høyest $VO_{2\text{-maks}}$ (Vesterinen, Mikkola, Nummela, Hynynen, & Häkkinen, 2009). Det ble også funnet høyere korrelasjon mellom prestasjon og $VO_{2\text{-maks}}$ i tredje og fjerde heat, sammenlignet med første og andre heat i samme studie. Høy $VO_{2\text{-maks}}$ ser dermed ut til å være mer og mer avgjørende for prestasjon for hvert heat utover i en sprintkonkurranse (Mikkola et al., 2010; Vesterinen et al., 2009). Det er likevel noe usikkert om dette gjenspeiler realiteten, da det er moderat til veldig høy korrelasjon mellom prologtid og totalprestasjon i internasjonale sprintkonkurranser (Spencer, Losnegard, Hallén, & Hopkins, 2014).

O_2 - kostnaden i stakeergometeret hadde moderate til høye korrelasjoner med effektproduksjonen på prestasjonstestene, og samsvarer med tidligere studier (Mahood et al., 2001; G. P. Millet et al., 2003; G. Y. Millet et al., 2002; Sandbakk, Ettema, et al., 2011). Utnyttelsesgraden på testene i vår studie gjenspeiler primært O_2 - kinetikk, hadde kun lave til ubetydelige korrelasjoner med effektproduksjon på sprint- og avsluttertesten, og samsvarer med Losnegard et al. (2012). Det var kun moderat til ubetydelig korrelasjon mellom ΣO_2 -underskudd og prestasjon på sprint- og avsluttertesten, og står i motsetning til Losnegard et al. (2012). Losnegard et al. (2012) fant høy til veldig høy korrelasjon mellom ΣO_2 -underskudd og prestasjon på 600 m TT (~170 sek). Det kan spekuleres i om heterogeniteten av studiedeltakerne i Losnegard et al. (2012) er årsaken til de forskjellige funnene fra vår studie. Studien benyttet et bredt spekter av løpere, som enten konkurrerte aktivt i sprint, distanseløp (15- 50 km) eller langløp (>50 km). Sprintere har høyere anaerob kapasitet enn distanseløpere (Losnegard & Hallén, 2014b) og antas å prestere bedre på 600 m TT. Det er dermed ikke overraskende at det ble funnet en signifikant sammenheng mellom sprintprestasjon og estimert anaerob kapasitet i en slik heterogen gruppe.

Multippel regresjon viste at $VO_{2\text{-peak}}$, $\sum O_{2\text{-underskudd}}$ og $O_{2\text{-kostnad}}$ forklarte hele 92 % av prestasjonen på sprinttesten. Forklaringsprosenten var noe høyere enn i Losnegard et al. (2012), hvor $VO_{2\text{-maks}}$, $O_{2\text{-kostnad}}$ og $\sum O_{2\text{-underskudd}}$ forklarte 66- 75 % av prestasjonen. 1 RM i sittende overtrekk ble ekskludert fra den stegvise modellen, og $VO_{2\text{-peak}}$ og $O_{2\text{-kostnad}}$ hadde større innflytelse i modellen sammenlignet med $\sum O_{2\text{-underskudd}}$ (høyere standardisert koeffisient (Beta)). Dette kan indikere at maksimalt oksygenopptak og arbeidsøkonomi er viktigere enn anaerob kapasitet og maksimal styrke, selv på korte prestasjonstester som simulerer sprintlangrenn.

5.10 Begrensninger ved studien

Optimalt hadde det blitt gjennomført mer tilvenning og flere og mer omfattende tester. Vår studie ble gjennomført på høsten i en tidsfase hvor langrennsløpere har stor total treningsbelastning. Studiedesignet måtte konstrueres etter tidsbruken deltakerne hadde mulighet til å avsette. Stakeergometer ble benyttet grunnet studien strekte seg fra høst til vinter, noe som vanskeliggjorde utendørstesting med like forhold. Årsaken til at det ikke ble valgt å teste på rullskimølle var at målgruppen var unge juniorutøvere med lite eller ingen tidligere familiarisering til testmetoden. Intervensjonen kunne gjerne hatt lengre varighet, da en eventuell effekt av maksimal styrketrening på langrennsprestasjon kan komme senere. Utfordringen med å gjennomføre en lengre intervensjonsstudie var at målgruppen måtte komme tilbake fra skoleferie før intervensjonsstudien kunne begynne. Posttestingsperioden hadde også blitt mer komplisert om studien hadde hatt lengre varighet, da posttestingen hadde blitt gjennom konkurransesesongen. Man kunne selvsagt ha gjennomført studien på våren eller latt deltakerne trene styrke på egenhånd gjennom sommeren. På våren har imidlertid de fleste langrennsløpere mer ustrukturert trening og er i dårligere form. Da kunne man hypotetisk fått effekt av en intervensjon som en følge av mer strukturert trening og ikke av innholdet i intervensjonen i seg selv. Det er særdeles viktig at det innlæres riktig løfteteknikk før man begynner å trene tung styrketrening. Det ville dermed ikke vært etisk forsvarlig å sette i gang så unge utøvere til å trene tung styretrening på egenhånd gjennom sommeren, uten betydelig oppfølging på løfteteknikk.

6. Konklusjon og anbefalinger

Maksimal styrketrening økte den maksimale styrken, men påvirket ikke prestasjonen i et stakeergometer over 20 sek eller 3 min. Den maksimale styrketreningen påvirket kun O₂-kostnad og estimert anaerob kapasitet lite til ubetydelig, og påvirket ikke kinematikken i staking på submaksimale eller maksimale belastninger. Det ble funnet en liten negativ endring av kondisjon i styrkegruppen sammenlignet med kontrollgruppen, men om dette skyldes intervensjonen eller tilfeldigheter er uklart.

På grunn av liten til ubetydelig effekt av maksimal styrketrening på prestasjon og prestasjonsrelaterte variabler, må utøvere og trenere vurdere om man skal prioritere maksimal styrketrening. Individuell respons må også tas i betraktning, da noen potensielt kan respondere positivt eller negativt på denne treningsformen. Det frarådes likevel ikke å trene maksimal styrketrening, da det ikke hadde noen negativ effekt på prestasjonen for gjennomsnittet av gruppa.

Unge utøvere er imidlertid uferdig utviklet, og har potensial for å heve kondisjonen. Siden høy kondisjon og god utholdenhet er viktig for å prestere i langrenn, vil det være fornuftig å prioritere trening av disse egenskapene i stor grad. Det vil også være naturlig å nedprioritere trening som gir usikker effekt på prestasjon. Dermed kan det være fornuftig å prioritere et større treningsvolum eller bedre kvalitet av kondisjon- og utholdenhetstrening, istedenfor å tilføre maksimal styrketrening i treningsarbeidet hos kvinnelige juniorlangrennsløpere.

Referanser

Journal artikler

- 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., et al. (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
- Alsobrook, N. G., & Heil, D. P. (2009). Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *Eur J Appl Physiol, 105(4)*, 633-641. doi: 10.1007/s00421-008-0943-z
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2010). Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scand J Med Sci Sports, 20 Suppl 2*, 32-38. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01196.x
- Antonio, J., & Gonyea, W. J. (1993). Role of muscle fiber hypertrophy and hyperplasia in intermittently stretched avian muscle. *J Appl Physiol (1985), 74(4)*, 1893-1898.
- Babault, N., Pousson, M., Ballay, Y., & Van Hoecke, J. (2001). Activation of human quadriceps femoris during isometric, concentric, and eccentric contractions. *J Appl Physiol (1985), 91(6)*, 2628-2634.
- Bangsbo, J. (1996). Oxygen deficit: a measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Can J Appl Physiol, 21(5)*, 350-363; discussion 364-359.
- Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., et al. (1990). Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol, 422*, 539-559.
- Bangsbo, J., Michalsik, L., & Petersen, A. (1993). Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *Int J Sports Med, 14(4)*, 207-213. doi: 10.1055/s-2007-1021165
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (1997). Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc, 29(5)*, 591-603.
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc, 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. *Eur J Appl Physiol, 86(1)*, 79-84.
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 81(5), 418-427. doi: 10.1007/s004210050063
- Bentley, D. J., Zhou, S., & Davie, A. J. (1998). The effect of endurance exercise on muscle force generating capacity of the lower limbs. *J Sci Med Sport*, 1(3), 179-188.
- Berger, R. (1962). Effect of Varied Weight Training Programs on Strength. *Res Q*, 33(2), 168-181. doi: 10.1080/10671188.1962.10613188
- Bergh, U. (1987). The influence of body mass in cross-country skiing. *Med Sci Sports Exerc*, 19(4), 324-331.
- Bergh, U., & Forsberg, A. (1992). Influence of body mass on cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc*, 24(9), 1033-1039.
- Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994). Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc*, 26(2), 254-257.
- 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. *Med Sci Sports Exerc*, 31(6), 886-891.
- Björklund, G., Stöggl, T., & Holmberg, H. C. (2010). Biomechanically influenced differences in O₂ extraction in diagonal skiing: arm versus leg. *Med Sci Sports Exerc*, 42(10), 1899-1908. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181da4339
- Bojsen-Møller, J., Losnegard, T., Kemppainen, J., Viljanen, T., Kalliokoski, K. K., & Hallén, 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
- Bosquet, L., Leger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med*, 32(11), 675-700.
- 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. *J Electromyogr Kinesiol*, 9(2), 87-95.
- 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? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 289(5), R1448-1458. doi: 10.1152/ajpregu.00824.2004
- Capelli, C. (1999). Physiological determinants of best performances in human locomotion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(4), 298-307. doi: 10.1007/s004210050596
- Carlsson, M., Carlsson, T., Hammarstrom, D., Tiivel, T., Malm, C., & Tonkonogi, M. (2012). Validation of physiological tests in relation to competitive performances in elite male distance cross-country skiing. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1496-1504. doi: 10.1519/JSC.0b013e318231a799

- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G., & Webber, C. E. (1998). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(1-2), 170-175.
- Chromiak, J. A., Smedley, B., Carpenter, W., Brown, R., Koh, Y. S., Lamberth, J. G., et al. (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
- Coetzer, P., Noakes, T. D., Sanders, B., Lambert, M. I., Bosch, A. N., Wiggins, T., et al. (1993). Superior fatigue resistance of elite black South African distance runners. *J Appl Physiol (1985)*, 75(4), 1822-1827.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports Med*, 35(11), 967-989.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation : acute metabolic responses. *Sports Med*, 36(1), 65-78.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports Med*, 36(3), 215-238.
- Davies, C. T., & Thompson, M. W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 41(4), 233-245.
- di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 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 Med*, 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. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2770-2778. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d64e9c
- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, 74(1), 49-94.
- Fitts, R. H., & Widrick, J. J. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc Sport Sci Rev*, 24, 427-473.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37(2), 145-168.
- Foss, O., & Hallén, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med*, 26(7), 569-575. doi: 10.1055/s-2004-821317

- Gabriel, D. A., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med*, 36(2), 133-149.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31(10), 725-741.
- Gergley, J. C. (2009). Comparison of two lower-body modes of endurance training on lower-body strength development while concurrently training. *J Strength Cond Res*, 23(3), 979-987. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181a0629d
- Green, H. J., Hughson, R. L., Orr, G. W., & Ranney, D. A. (1983). Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 54(4), 1032-1038.
- Green, S., & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Med*, 15(5), 312-327.
- Guglielmo, L. G., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *Int J Sports Med*, 30(1), 27-32. doi: 10.1055/s-2008-1038792
- Göpfert, C., Holmberg, H. C., Stöggl, T., Müller, E., & Lindinger, S. J. (2013). Biomechanical characteristics and speed adaptation during kick double poling on roller skis in elite cross-country skiers. *Sports Biomech*, 12(2), 154-174.
- Hargreaves, M. (2000). Skeletal muscle metabolism during exercise in humans. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 27(3), 225-228.
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 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. *Med Sci Sports Exerc*, 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. *Med Sci Sports Exerc*, 31(6), 870-877.
- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E., & Müller, E. (2005). Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 37(5), 807-818. doi: 10.1249/01.mss.0000162615.47763.c8
- Holmberg, H. C., Rosdahl, H., & Svedenhag, J. (2007). Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scand J Med Sci Sports*, 17(4), 437-444. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00592.x

- Hopkins, W. G., Schabert, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med*, 31(3), 211-234.
- Häkkinen, K., Kallinen, M., Izquierdo, M., Jokelainen, K., Lassila, H., Mälkiä, E., et al. (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.
- Ingjer, F. (1991). Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports*, 1(1), 25-30. doi: 10.1111/j.1600-0838.1991.tb00267.x
- Ingjer, F. (1992). Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: a longitudinal study. *J Sports Sci*, 10(1), 49-63. doi: 10.1080/02640419208729906
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., & Gorostiaga, E. M. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol*, 94(1-2), 70-75. doi: 10.1007/s00421-004-1280-5
- 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. *J Strength Cond Res*, 21(1), 289-295. doi: 10.1519/r-18465.1
- Johnston, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R., & Vroman, N. B. (1997). Strength Training in Female Distance Runners: Impact on Running Economy. *J Strength Cond Res*, 11(4), 224-229.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*, 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. *Med Sci Sports Exerc*, 43(11), 2046-2062. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821fcfc1
- Jones, D. A., Rutherford, O. M., & Parker, D. F. (1989). Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Q J Exp Physiol*, 74(3), 233-256.
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1), 35-44. doi: 10.1113/jphysiol.2007.143834
- Jung, A. P. (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Med*, 33(7), 539-552.
- Kelley, G. (1996). Mechanical overload and skeletal muscle fiber hyperplasia: a meta-analysis. *J Appl Physiol* (1985), 81(4), 1584-1588.
- Knuttgen, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *J Strength Cond Res*, 1(1), 1-10.

- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., et al. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., & Evans, W. J. (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exerc Sport Sci Rev*, 24, 363-397.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol (1985)*, 78(3), 976-989.
- Larsson, P., & Henriksson-Larsen, K. (2005). Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *J Sports Sci*, 23(8), 861-870. doi: 10.1080/02640410400022078
- Larsson, P., & Henriksson-Larsen, K. (2008). Body composition and performance in cross-country skiing. *Int J Sports Med*, 29(12), 971-975. doi: 10.1055/s-2008-1038735
- Larsson, P., Olofsson, P., Jakobsson, E., Burlin, L., & Henriksson-Larsen, K. (2002). Physiological predictors of performance in cross-country skiing from treadmill tests in male and female subjects. *Scand J Med Sci Sports*, 12(6), 347-353.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32(1), 53-73.
- 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. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2280-2286. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b990c2
- Lindinger, S. J., Holmberg, H. C., Müller, E., & Rapp, W. (2009). Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country skiing. *Eur J Appl Physiol*, 106(3), 353-363. doi: 10.1007/s00421-009-1018-5
- Lindinger, S. J., Stöggl, T., Müller, E., & Holmberg, H. C. (2009). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 210-220. doi: 10.1249/MSS.0b013e318184f436
- Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc*, 29(6), 837-843.
- Losnegard, T., & Hallén, J. (2014a). Elite cross-country skiers do not reach their running VO₂max during roller ski skating. *J Sports Med Phys Fitness, Akseptert, upublisert*.
- Losnegard, T., & Hallén, J. (2014b). Physiological differences between sprint- and distance-specialized cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 25-31. doi: 10.1123/ijsp.2013-0066

- 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*, 21(3), 389-401. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x
- Losnegard, T., Myklebust, H., & Hallén, J. (2012). Anaerobic capacity as a determinant of performance in sprint skiing. *Med Sci Sports Exerc*, 44(4), 673-681. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182388684
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M., & Hallén, J. (2013). Seasonal variations in VO₂max, O₂-cost, O₂-deficit, and performance in elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res*, 27(7), 1780-1790. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6
- Losnegard, T., Schäfer, D., & Hallén, J. (2014). Exercise economy in skiing and running. *Front Physiol*, 5, 5. doi: 10.3389/fphys.2014.00005
- Mahood, N. V., Kenefick, R. W., Kertzer, R., & Quinn, T. J. (2001). Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(8), 1379-1384.
- McGawley, K., & Holmberg, H. C. (2014). Aerobic and anaerobic contributions to energy production among junior male and female cross-country skiers during diagonal skiing. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 32-40. doi: 10.1123/ijssp.2013-0239
- Medbø, J. I. (1996). Is the maximal accumulated oxygen deficit an adequate measure of the anaerobic capacity? *Can J Appl Physiol*, 21(5), 370-383; discussion 384-378.
- Medbø, J. I., Mamen, A., Holt Olsen, O., & Evertsen, F. (2000). Examination of four different instruments for measuring blood lactate concentration. *Scand J Clin Lab Invest*, 60(5), 367-380.
- Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol* (1985), 64(1), 50-60.
- Mikkola, J., Laaksonen, M., Holmberg, H. C., Vesterinen, V., & Nummela, A. (2010). Determinants of a simulated cross-country skiing sprint competition using V2 skating technique on roller skis. *J Strength Cond Res*, 24(4), 920-928. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cbaaaf
- Mikkola, J., Laaksonen, M. S., Holmberg, H. C., Nummela, A., & Linnamo, V. (2013). Changes in performance and poling kinetics during cross-country sprint skiing competition using the double-poling technique. *Sports Biomech*, 12(4), 355-364.
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med*, 28(7), 602-611. doi: 10.1055/s-2007-964849
- Mikkola, J., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and

- fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res*, 21(2), 613-620. doi: 10.1519/r-20045.1
- Millet, G. P., Boissiere, D., & Candau, R. (2003). Energy cost of different skating techniques in cross-country skiing. *J Sports Sci*, 21(1), 3-11.
- 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. *Med Sci Sports Exerc*, 34(8), 1351-1359.
- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., & Clifford, P. S. (1998). Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Med Sci Sports Exerc*, 30(11), 1645-1653.
- Millet, G. Y., Perrey, S., Candau, R., & Rouillon, J. D. (2002). Relationships between aerobic energy cost, performance and kinematic parameters in roller ski skating. *Int J Sports Med*, 23(3), 191-195. doi: 10.1055/s-2002-23178
- Minahan, C., & Wood, C. (2008). Strength training improves supramaximal cycling but not anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol*, 102(6), 659-666. doi: 10.1007/s00421-007-0641-2
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(3), 193-199. doi: 10.1007/s004210050147
- Mygind, E., Larsson, B., & Klausen, T. (1991). Evaluation of a specific test in cross-country skiing. *J Sports Sci*, 9(3), 249-257. doi: 10.1080/02640419108729887
- Nader, G. A. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11), 1965-1970. doi: 10.1249/01.mss.0000233795.39282.33
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., et al. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiol Scand*, 157(2), 175-186. doi: 10.1046/j.1365-201X.1996.483230000.x
- Niinimaa, V., Dyon, M., & Shephard, R. J. (1978). Performance and efficiency of intercollegiate cross-country skiers. *Med Sci Sports*, 10(2), 91-93.
- Noordhof, D. A., de Koning, J. J., & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity? *Sports Med*, 40(4), 285-302. doi: 10.2165/11530390-000000000-00000
- Olesen, H. L. (1992). Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. *J Appl Physiol (1985)*, 73(3), 1130-1134.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämmäläinen, 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., Häkkinen, K., & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(4), 251-255.
- Pellegrini, B., Bortolan, L., & Schena, F. (2011). Poling force analysis in diagonal stride at different grades in cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports*, 21(4), 589-597. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01071.x
- Pellegrini, B., Zoppirolli, C., Bortolan, L., Holmberg, H. C., Zamparo, P., & Schena, F. (2013). Biomechanical and energetic determinants of technique selection in classical cross-country skiing. *Hum Mov Sci*, 32(6), 1415-1429. doi: 10.1016/j.humov.2013.07.010
- Perez-Gomez, J., Rodriguez, G. V., Ara, I., Olmedillas, H., Chavarren, J., Gonzalez-Henriquez, J. J., et al. (2008). Role of muscle mass on sprint performance: gender differences? *Eur J Appl Physiol*, 102(6), 685-694. doi: 10.1007/s00421-007-0648-8
- Perrault, H. (2006). Efficiency of movement in health and chronic disease. *Clin Invest Med*, 29(2), 117-121.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res*, 18(2), 377-382. doi: 10.1519/r-12842.1
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res*, 19(4), 950-958. doi: 10.1519/r-16874.1
- 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. *Am J Physiol*, 273(1 Pt 1), E99-107.
- Pizza, F. X., Naglieri, T. A., Holtz, R. W., Mitchell, J. B., Starling, R. D., Phillips, M. D., et al. (1996). Maximal accumulated oxygen deficit of resistance-trained men. *Can J Appl Physiol*, 21(5), 391-402.
- Poole, D. C., Ward, S. A., Gardner, G. W., & Whipp, B. J. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31(9), 1265-1279. doi: 10.1080/00140138808966766
- Raastad, T., & Hallén, J. (2000). Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol*, 82(3), 206-214. doi: 10.1007/s004210050673
- Raastad, T., Risøy, B. A., Benestad, H. B., Fjeld, J. G., & Hallén, J. (2003). Temporal relation between leukocyte accumulation in muscles and halted recovery 10-20 h after strength exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 95(6), 2503-2509. doi: 10.1152/jappphysiol.01064.2002
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Houch, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J., et al. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression

- models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
- Reybrouck, T., Defoor, J., Bijmens, B., Mertens, L., & Gewillig, M. (2003). Influence of work rate on the determinants of oxygen deficit during short-term submaximal exercise: implications for clinical research. *Clin Physiol Funct Imaging*, 23(1), 42-49.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 456-464. doi: 10.1249/01.mss.0000053727.63505.d4
- Rietjens, G. J., Kuipers, H., Kester, A. D., & Keizer, H. A. (2001). Validation of a computerized metabolic measurement system (Oxycon-Pro) during low and high intensity exercise. *Int J Sports Med*, 22(4), 291-294. doi: 10.1055/s-2001-14342
- Rud, B., Secher, N. H., Nilsson, J., Smith, G., & Hallén, J. (2013). Metabolic and mechanical involvement of arms and legs in simulated double pole skiing. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12133
- Rundell, K. W., & Bacharach, D. W. (1995). Physiological characteristics and performance of top U.S. biathletes. *Med Sci Sports Exerc*, 27(9), 1302-1310.
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 965-975. doi: 10.1007/s00421-009-1307-z
- 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(2), 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. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1457-1466. doi: 10.1007/s00421-011-2112-z
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 112(6), 2341-2352. doi: 10.1007/s00421-011-2204-9
- Sale, D. G., Jacobs, I., MacDougall, J. D., & Garner, S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*, 22(3), 348-356.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., & Holmberg, H. C. (2013). The physiological and biomechanical contributions of poling to roller ski skating. *Eur J Appl Physiol*, 113(8), 1979-1987. doi: 10.1007/s00421-013-2629-4
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., & Holmberg, H. C. (2014). Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from

- poling. *Scand J Med Sci Sports*, 24(1), 28-33. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., Leirdal, S., & Holmberg, H. C. (2012). Gender differences in the physiological responses and kinematic behaviour of elite sprint cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*, 112(3), 1087-1094. doi: 10.1007/s00421-011-2063-4
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., Leirdal, S., Jakobsen, V., & Holmberg, H. C. (2011). Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *Eur J Appl Physiol*, 111(6), 947-957. doi: 10.1007/s00421-010-1719-9
- Sandbakk, Ø., 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
- Sandbakk, Ø., Welde, B., & Holmberg, H. C. (2011). Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers. *J Strength Cond Res*, 25(5), 1299-1305. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d82d11
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med*, 34(7), 465-485.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., et al. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res*, 20(4), 947-954. doi: 10.1519/r-18235.1
- 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. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2433-2443. doi: 10.1519/JSC.0b013e318280cc26
- 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/jappphysiol.00789.2006
- Shield, A., & Zhou, S. (2004). Assessing voluntary muscle activation with the twitch interpolation technique. *Sports Med*, 34(4), 253-267.
- Smith, G. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Med Sci Sports Exerc*, 24(9), 1015-1022.
- Spencer, M., Losnegard, T., Hallén, J., & Hopkins, W. G. (2014). Variability and predictability of performance times of elite cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 5-11. doi: 10.1123/ijsp.2012-0382
- Sporer, B. C., & Wenger, H. A. (2003). Effects of aerobic exercise on strength performance following various periods of recovery. *J Strength Cond Res*, 17(4), 638-644.

- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol*, 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 Racing Performance Predicted by Aerobic and Anaerobic Double Poling Power. *J Strength Cond Res*, 14(3), 282-288.
- Staron, R. S., Malicky, E. S., Leonardi, M. J., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., & Dudley, G. A. (1990). Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 60(1), 71-79.
- Strømme, S. B., Ingjer, F., & Meen, H. D. (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 42(6), 833-837.
- Stöggl, T., Björklund, 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
- Stöggl, T., Enqvist, J., Müller, E., & Holmberg, H. C. (2010). Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing. *J Sports Sci*, 28(2), 161-169. doi: 10.1080/02640410903414160
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Müller, 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
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Müller, E. (2007b). Evaluation of an upper-body strength test for the cross-country skiing sprint. *Med Sci Sports Exerc*, 39(7), 1160-1169. doi: 10.1249/mss.0b013e3180537201
- Stöggl, T., Müller, 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
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 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. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2157-2165. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A., & Häkkinen, K. (2013). Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol*, 113(2), 325-335. doi: 10.1007/s00421-012-2440-7
- Turner, A. M., Owings, M., & Schwane, J. A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res*, 17(1), 60-67.

- Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513 (Pt 1), 295-305.
- Van Hall, G., Jensen-Urstad, M., Rosdahl, H., Holmberg, H. C., Saltin, B., & Calbet, J. A. (2003). Leg and arm lactate and substrate kinetics during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 284(1), E193-205. doi: 10.1152/ajpendo.00273.2002
- Vesterinen, V., Mikkola, J., Nummela, A., Hynynen, E., & Häkkinen, K. (2009). Fatigue in a simulated cross-country skiing sprint competition. *J Sports Sci*, 27(10), 1069-1077. doi: 10.1080/02640410903081860
- Weber, C. L., & Schneider, D. A. (2000). Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *Eur J Appl Physiol*, 82(4), 255-261. doi: 10.1007/s004210000214
- Weiss, L. W., Conex, H. D., & Clark, F. C. (1999). Differential Functional Adaptations to Short-Term Low-, Moderate-, and High-Repetition Weight Training. *J Strength Cond Res*, 13(3), 236-241.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., & Higbie, E. J. (1993). Peak oxygen deficit during one- and two-legged cycling in men and women. *Med Sci Sports Exerc*, 25(5), 584-591.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*, 33(3), 351-356.
- Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., & Kim, J. S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1724-1729. doi: 10.1519/JSC.0b013e318234eb6f
- 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. *Eur J Appl Physiol*, 88(3), 255-263. doi: 10.1007/s00421-002-0717-y

Elektroniske artikler

- FIS. (2012). World Cup Calendar 2012/ 2013. *www.fis-ski.com*. Hentet fra: http://www.fis-ski.com/data/document/cal-cc12-13_final2.pdf
- Hopkins, W. G. (2000a). Analysis of reliability with a spreadsheet (Excel regneark). I: A New View of Statistics. *Internet Society for Sport Science*. Hentet fra <http://www.sportsci.org/resource/stats/xrely.xls>
- Hopkins, W. G. (2000b). A scale of magnitudes for effect statistics. I: A New View of Statistics. *Internet Society for Sport Science*. Hentet fra <http://www.sportsci.org/resource/stats/>
- Hopkins, W. G. (2006). Spreadsheets for Analysis of Controlled Trials, with Adjustments for Subjects Characteristic. *Sportscience*, 10, 46-50. Hentet fra <http://www.sportsci.org/2006/wghcontrial.htm>

Hopkins, W. G. (2007). A Spreadsheet to Compare Means of Two Groups. *Sportscience*, 11, 22-23. Hentet fra <http://www.sportsci.org/2007/inbrief.htm#xl2>

PhD avhandlinger

Losnegard, T. (2013). *Physiological determinants of performance in modern elite cross-country skiing*. PhD thesis, Norwegian School of Sport Sciences, Oslo.

Bøker

Goldspink, G., & Harridge, S. (2003). Cellular and molecular aspects of adaptations in skeletal muscle. I P. V. Komi (Red.), *Strength and Power in Sports* (2. utg. Oxford: Blackwell Science Ltd.

Hallén, J. (2002). *Fysiologisk adaptasjon til utholdenhetstrening*. [Oslo]: Norges idrettshøgskole.

Raastad, T., Paulsen, G., Refsnes, P. E., Rønnestad, B. R., & Wisnes, A. R. (2010). *Styrketrening: i teori og praksis*. Oslo: Gyldendal undervisning.

Smith, G., Kvamme, B., & Jakobsen, V. (2009). Effectiveness of ski and pole forces in ski skating. I E. Müller, S. Lindinger & T. Stöggl (Red.), *Science and skiing IV. "The fourth International Congress on Science and Skiing, St. Christoph am Arlberg, Tyrol, Austria"* (s. 647-656): Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.

Stöggl, T., Stöggl, J., & Müller, E. (2009). Competition analysis of the last decade (1996–2008) in cross-country skiing. I E. Müller, S. Lindinger & T. Stöggl (Red.), *Science and skiing IV. "The fourth International Congress on Science and Skiing, St. Christoph am Arlberg, Tyrol, Austria"* (s. 657-677): Maidenhead: Meyer & Meyer Sport.

Åstrand, P.-O., & Rodahl, K. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.

Masteroppgaver

Losnegard, T. (2008). *Effekten av styrketrening på prestasjonen i langrenn*. Masteroppgave, Norges Idrettshøgskole, Oslo.

Tabelloversikt

Tabell 2.1: En oversikt over tidligere studier som har undersøkt effekten av styrketrening hos langrennsløpere og som har inkludert en relevant kontrollgruppe. Effektstørrelse (ES; Cohen's <i>d</i>) oppgis i endring fra pre- til posttest i styrkegruppen (STR), kontrollgruppen (KON) og for differansen (Diff) i endring på prestasjonstestene mellom gruppene. En positiv ES indikerer en forbedring i prestasjon i STR og KON, og i gruppesammenligningen indikerer en positiv ES en effekt av styrketreningen	28
Tabell 3.1: Karakteristikk for intervensjonsgruppen (INT; n= 9) og kontrollgruppen (KON; n= 7) (pretest)	31
Tabell 3.2: Tabellen viser det eksperimentelle designet satt i tidsperspektiv	32
Tabell 3.3: Styrketreningsprogram for intervensjonsgruppen	39
Tabell 4.1: Treningstimer per uke gjennom intervensjonsperioden fordelt på treningsmetode for intervensjonsgruppen og kontrollgruppen	41
Tabell 4.2: Treningstimer per uke gjennom intervensjonen fordelt på bevegelsesform og prosentvis fordeling av totalt treningsvolum for intervensjonsgruppen og kontrollgruppen	43
Tabell 4.3: Oksygen (O ₂)- krav, akkumulert (Σ) O ₂ - opptak og Σ O ₂ - underskudd på sprinttesten	46
Tabell 4.4: Korrelasjonsmatrise over effektproduksjonen og variabler målt via ergospirometrisystemet under stakeergometertestene. Pretest korrelasjonene er på bakgrunn av absolutte tall og korrelasjonene på endringer er relative endringer fra pre- til posttest (n= 15 / 16)	50
Tabell 4.5: Multipl linear regresjon for prediksjon av prestasjon på sprinttesten (watt; avhengig variabel). De uavhengige variablene er VO _{2-peak} (ml) og akkumulert oksygenunderskudd (ml) målt på den respektive testen, og O ₂ - kostnad på submaksimal belastning (40 W) (n= 15)	51

Figuroversikt

Figur 3.1: Oversikt over styrkeøvelsene som ble benyttet i prosjektet: sittende overtrekk (1), stående staking m/benk (2) og triceps- press (3) (hentet fra: http://www.nih.no/forskningsprosjekter-ved-nih/ftp/Prosjekter/Prosjekter-innen-ski/styrketrening-og-langrenn/(14.05.13)))	33
Figur 3.2: Stakeergometeret som ble benyttet til tilvenning og testing under prosjektet	33
Figur 3.3: Håndtak benyttet i øvelsene sittende overtrekk, stående staking m/ benk og triceps- press	34
Figur 3.4: Protokoll benyttet for å måle $VO_{2\text{-maks}}$, O_2 -kostnad og prestasjonen i løping	35
Figur 3.5: Protokoller for måling av O_2 - kostnad, anaerob kapasitet, $VO_{2\text{-peak}}$ staking, maksimal anaerob effekt og prestasjon på sprinttest og avsluttest	37
Figur 3.6: Figuren viser et eksempel på hvordan O_2 - kravet på supramaksimale belastninger ble ekstrapolert på bakgrunn av regresjonslinjen av O_2 - kostnadene på submaksimal belastning og O_2 - opptaket i hvile	38
Figur 4.1: Treningsmotstanden på 6RM økten for øvelsene sittende overtrekk, stående staking mot benk og triceps- press. Det ble ikke trent med 6RM motstand i uke 5-7. Data er gjennomsnitt (n= 9)	42
Figur 4.2: En repetisjon maksimum (1 RM) i sittende overtrekk ved pre- og posttest. Verdiene er oppgitt som gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall i positiv retning for intervensjonsgruppen (INT) (n=9) og i negativ retning for kontrollgruppen (KON) (n= 7). *Signifikant forskjellig fra pretest (p<0,01). # Signifikant større endring fra pre- til posttest i INT sammenlignet med KON (p<0,01)	43
Figur 4.3: Absoluttverdier ved pre- og posttest for armomkrets (A) og kroppsvekt (B) for intervensjonsgruppen (INT) (n= 9) og kontrollgruppen (KON) (n= 7). Data er gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall. * Signifikant forskjellig fra pretest (p<0,05). # Signifikant større endring fra pre- til posttest i INT sammenlignet med KON (p=0,05).	43
Figur 4.4: Pre- og posttest resultater for sprinttest (A), avsluttest (B), maksimal anaerob effekt (C) og peak effekt (D). Data er gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall i negativ retning for intervensjonsgruppen (INT) (n=9) og i positiv retning for kontrollgruppen (KON) (n=7). *Signifikant forskjellig fra pretest (p<0,01)	44

Figur 4.5: Figur (A) og (B) viser $VO_{2\text{-maks}}$ løping ved pre- og posttest henholdsvis målt som $L \cdot \text{min}^{-1}$ og $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ i intervensjonsgruppen (INT) (n= 9) og kontrollgruppen (KON) (n= 7). Figur (C) og (D) viser høyeste $VO_{2\text{-peak}}$ fra de to staketestene ved pre- og posttest henholdsvis målt som $L \cdot \text{min}^{-1}$ og $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ i INT og KON. Verdiene er oppgitt som gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall i positiv retning for INT og i negativ retning for KON. * Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,05$). α Signifikant forskjellig fra pretest ($p < 0,1$). # Signifikant forskjell i endring fra pre- til posttest mellom gruppene ($p < 0,1$)	45
Figur 4.6: Aerob og anaerob energibidrag satt i tidsperspektiv under sprinttesten. Data er hentet ut som et gjennomsnitt av alle deltagere i begge grupper (n= 16) fra pretesten i 5sek oppløsning. (A) viser verdier i $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ og (B) viser den relative fordelingen mellom de to energikildene	47
Figur 4.7: Relativ endring i oksygenkostnad ($L \cdot \text{min}^{-1}$) i stakeergometeret fra pre- til posttest i intervensjonsgruppen (INT) og kontrollgruppen (KON). Data er gjennomsnitt og feilmarkører viser 90 % konfidensintervall	47
Figur 4.8: Sammenheng mellom 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk og effektproduksjon (W: watt) på sprinttesten ($r = 0,70$; $p < 0,01$) (A), avsluttesten ($r = 0,65$; $p < 0,01$) (B) og testen for maksimal anaerob effekt ($r = 0,74$; $p < 0,01$) (C). Figur D- F viser sammenhengen mellom prosentvis endring i 1 RM og prosentvis endring i effektproduksjon på de tre respektive testene fra pre- til posttest ($r = 0,17 - 0,19$) (n= 16)	48
Figur 4.9: (A) Sammenheng mellom omkrets av overarm og 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk ved pretest ($r = 0,88$; $p < 0,01$). (B) Sammenheng mellom relativ endring av de to variablene fra pre- til posttest ($r = 0,54$; $p < 0,05$) (n= 16)	49
Figur 4.10: Sammenheng mellom 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende overtrekk og oksygen (O_2)- kostnad i stakeergometeret (40 W). Oppgitt i relative ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ($r = -0,58$; $p < 0,05$) (A) og absolutte verdier ($L \cdot \text{min}^{-1}$) ($r = -0,34$) (B) ved pretest (n=15)	49
Figur 5.1: Effektstørrelse av prestasjonsendring i styrke- sammenlignet med kontrollgruppen i vår studie og tidligere studier. Testene er tid til utmattelse på stakeergometer (1- 3), distanse rulle ski (4, 5, 6, 8) og effektproduksjon på stakeergometer (7, 9, 10). * Signifikant større endring i styrke- sammenlignet med kontrollgruppen fra pre- til posttest ($p < 0,05$). Utregninger forklares i tabell 2.1	56

Vedlegg

- I Utfyllende data på prestasjonstestene**

- II Utfyllende data på submaksimale belastninger**

- III Kinematikk submaksimale belastninger**

- IV Kinematikk prestasjonstester**

- V Validitet og reliabilitet**

- VI Abstract IP-SMEC (Sport as a Mean for European Citizenship)**

- VII Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjektet:
 "Effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen i langrenn"**

- VIII Treningsdagbok til bruk under styrkeintervensjon (eks., uke 1)**

Vedlegg I

Tabellvedlegg I: Rådata, endringer gjennom intervensjonen og gruppesammenligning av opplevd anstrengelse ergospirometri-, hjertefrekvens-, og laktamålinger fra sprinttesten, avsluttesten og løpetesten.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)				Kontrollgruppe (n = 7)				Gruppesammenligning		
	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Forskjell (% snitt ± KI)	ES	Kvalitativ vurdering
Sprinttest											
VO _{2-peak} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	52,3 ± 6,9	52,8 ± 5,2	1,2 ± 3,3	0,08	49,7 ± 3,6	52,9 ± 2,6	6,5 ± 7,4	0,73	-5,0 ± 7,0	-0,45	Liten negativ
Σ O ₂ (ml · kg ⁻¹)	138,9 ± 15,5	137,0 ± 11,2	-1,1 ± 3,0	-0,10	131,1 ± 9,6	136,6 ± 7,0	4,4 ± 6,0	0,50	-5,3 ± 5,9	-0,53	Liten negativ
Umyttelsesgrad (%)	86,4 ± 2,1	84,9 ± 3,2	-1,5 ± 1,7	-0,62	84,9 ± 5,1	84,5 ± 3,6	-0,3 ± 5,5	-0,06	-1,1 ± 5,6	-0,30	Liten
HF _{peak} (slag · min ⁻¹)	186,4 ± 5,4	187,1 ± 7,9	0,3 ± 1,6	0,10	190,3 ± 7,7	188,7 ± 7,7	-0,8 ± 0,7	±	1,1 ± 1,7	0,31	Liten
V _{E-peak} (L · min ⁻¹)	132,2 ± 17,7	135,0 ± 13,8	2,5 ± 6,0	0,16	131,7 ± 19,2	141,9 ± 18,5	7,9 ± 7,1	0,42	-5,1 ± 7,8	-0,35	Liten negativ
PF _{peak} (pust · min ⁻¹)	76,8 ± 7,2	76,8 ± 5,9	0,1 ± 4,0	0,01	75,6 ± 10,4	71,9 ± 8,9	-4,8 ± 6,3	-0,32	5,1 ± 7,6	0,44	Liten
RER	1,07 ± 0,07	1,03 ± 0,08	-3,3 ± 2,8	±	1,06 ± 0,06	1,04 ± 0,05	-2,0 ± 5,3	-0,30	-1,3 ± 5,8	-0,22	Liten negativ
Borg (6-20)	18,7 ± 0,7	19,0 ± 0,5	1,8 ± 2,4	0,43	18,7 ± 0,8	19,0 ± 0,6	1,6 ± 2,0	0,34	0,3 ± 2,8	0,07	Ubetydelig
La' (1min)	11,6 ± 2,1	11,0 ± 1,7	-4,9 ± 7,1	-0,24	11,7 ± 2,4	11,2 ± 2,2	-4,1 ± 8,8	-0,17	-0,8 ± 11,0	-0,04	Ubetydelig
La' (3min)	12,2 ± 2,3	11,4 ± 1,4	-6,1 ± 7,2	-0,28	11,5 ± 2,2	11,1 ± 2,2	-4,2 ± 10,7	-0,18	-2,0 ± 12,4	-0,10	Ubetydelig
Avsluttest											
VO _{2-peak} (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	51,7 ± 4,9	52,8 ± 6,7	1,9 ± 2,6	0,18	50,8 ± 3,9	52,7 ± 3,8	3,9 ± 6,6	0,41	-1,9 ± 6,4	-0,22	Liten negativ
Σ O ₂ (ml · kg ⁻¹)	144,4 ± 11,3	147,9 ± 18,5	2,0 ± 3,8	0,23	138,0 ± 13,2	143,9 ± 11,5	4,4 ± 5,8	0,39	-2,3 ± 6,1	-0,26	Liten negativ
Umyttelsesgrad (%)	90,1 ± 4,3	91,3 ± 2,7	1,2 ± 3,6	0,25	87,4 ± 4,5	87,9 ± 4,6	0,6 ± 2,2	0,11	0,6 ± 3,9	0,13	Ubetydelig
HF _{peak} (slag · min ⁻¹)	189,9 ± 7,5	191,3 ± 6,5	0,8 ± 1,0	0,18	191,6 ± 5,7	191,0 ± 8,8	-0,4 ± 1,9	-0,10	1,1 ± 2,1	0,31	Liten
V _{E-peak} (L · min ⁻¹)	127,1 ± 14,2	130,6 ± 12,8	2,9 ± 2,5	0,24	124,8 ± 25,9	134,4 ± 16,9	9,0 ± 9,3	0,33	-5,6 ± 8,5	-0,35	Liten negativ
PF _{peak} (pust · min ⁻¹)	73,8 ± 9,1	75,6 ± 7,4	2,7 ± 5,1	0,19	71,3 ± 8,3	69,3 ± 4,9	-2,5 ± 4,9	-0,19	5,3 ± 6,9	0,41	Liten
RER	1,09 ± 0,07	1,08 ± 0,07	-1,1 ± 1,6	-0,17	1,10 ± 0,04	1,09 ± 0,05	-1,1 ± 3,6	-0,23	-0,1 ± 3,8	-0,01	Ubetydelig
Borg (6-20)	19,0 ± 0,5	19,0 ± 0,5	0,0 ± 1,7	0,00	19,0 ± 0,8	19,1 ± 0,7	0,8 ± 1,5	0,16	-0,8 ± 2,1	-0,22	Liten negativ
La' (1min)	9,3 ± 1,8	9,4 ± 1,6	0,9 ± 9,2	0,04	9,2 ± 2,0	9,8 ± 2,0	6,9 ± 14,3	0,24	-5,6 ± 14,3	-0,27	Liten negativ
La' (3min)	9,3 ± 1,8	9,8 ± 1,9	4,3 ± 7,7	0,19	9,4 ± 2,1	9,5 ± 2,0	2,1 ± 12,7	0,07	2,2 ± 14,0	0,09	Ubetydelig
VO_{2-max} løping											
Tid til utmattelse (s)	445 ± 23,1	425,4 ± 41,7	-4,4 ± 4,2	-0,43	426 ± 27,6	423,7 ± 39,7	-0,5 ± 3,0	-0,04	-4,0 ± 5,8	-0,40	Liten negativ
HF _{peak} (slag · min ⁻¹)	196,2 ± 6,1	196,4 ± 6,1	0,1 ± 1,1	0,03	199,7 ± 6,7	200,0 ± 7,0	0,1 ± 0,8	0,03	0,0 ± 1,3	0,00	Ubetydelig
V _{E-peak} (L · min ⁻¹)	131,3 ± 11,1	135,3 ± 11,8	3,0 ± 3,3	0,31	136,1 ± 17,8	142,3 ± 15,8	4,8 ± 4,3	0,30	-1,7 ± 4,8	-0,15	Ubetydelig
PF _{peak} (pust · min ⁻¹)	69,1 ± 7,9	68,0 ± 6,3	-1,4 ± 3,6	-0,11	69,4 ± 9,7	68,6 ± 7,9	-1,0 ± 4,1	-0,06	-0,4 ± 5,1	-0,03	Ubetydelig
RER	1,14 ± 0,03	1,16 ± 0,05	1,4 ± 2,2	0,43	1,15 ± 0,03	1,17 ± 0,04	1,7 ± 3,4	0,49	-0,3 ± 3,8	-0,10	Ubetydelig
Borg (6-20)	19,3 ± 1,0	19,2 ± 0,7	-0,5 ± 3,5	-0,08	19,9 ± 0,4	19,9 ± 0,4	0,0 ± 2,2	0,00	-0,5 ± 3,9	-0,11	Ubetydelig
Pulsfall 1. min (slag)	30,4 ± 7,5	28,8 ± 10,8	-8,5 ± 13,7	-0,30	31,9 ± 10,2	31,0 ± 9,1	-2,4 ± 11,0	-0,07	-6,3 ± 16,4	-0,22	Liten

ES: Effekstørrelse (Cohen's d). Terskelverdier: 0,2, 0,6, 1,2, 2,0 for liten, moderat, stor og veldig stor effekt. 90 % Konfidensintervall (KI), SD: Standardavvik, Snitt: gjennomsnitt.

VO_{2-peak}: høyeste målte oksygenopptak. ΣO₂: akkumulert oksygenopptak. HF_{peak}: høyeste målte hjertefrekvens. V_{E-peak}: høyeste målte ventilasjon. RER: respiratory exchange ratio. Borg: Opplevd anstrengelse. La' : laktat målt i helblod. ± Signifikant endring fra pretest (p<0,1).

Vedlegg II

Tabellvedlegg II: Rådata, endringer og gruppesammenligning av oksygenkostnaden i staking, samt de korresponderende hjertefrekvens og Borg RPE- verdiene.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)					Kontrollgruppe (n = 7)					Gruppesammenligning				
	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES		Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES		Forskjell (% snitt ± KI)	ES	Kvalitativ vurdering		
60 % av VO_{2-peak}															
VO ₂ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	32,0 ± 3,3	29,9 ± 2,7	-6,3 ± 4,1	*	-0,57	29,0 ± 2,3	28,1 ± 3,3	-3,3 ± 4,2	-0,36		-3,1 ± 5,6	-0,29	Liten negativ		
VO ₂ (L · min ⁻¹)	1,93 ± 0,18	1,86 ± 0,19	-3,7 ± 4,2		-0,37	1,72 ± 0,18	1,71 ± 0,22	-0,5 ± 6,0	-0,04		-3,2 ± 6,7	-0,27	Liten negativ		
Prosent av VO _{2-peak} (eksakt)	59,8 ± 4,4	55,6 ± 2,9	-4,1 ± 2,9	*	-0,85	56,3 ± 4,3	52,3 ± 6,5	-4,1 ± 2,9	*		-0,1 ± 3,9	-0,02	Ubetydelig		
RER	0,90 ± 0,04	0,88 ± 0,04	-2,9 ± 2,6	⊠	-0,64	0,88 ± 0,03	0,85 ± 0,04	-3,2 ± 2,8	⊠		0,3 ± 3,7	0,08	Ubetydelig		
HF (slag · min ⁻¹)	147,1 ± 10,6	142,7 ± 12,7	-3,1 ± 3,5		-0,40	145,0 ± 10,8	134,0 ± 16,3	-8,0 ± 3,9	*		5,2 ± 5,4	#	Moderat		
Borg (6-20)	11,2 ± 2,3	10,0 ± 2,1	-10,8 ± 9,8	*	-0,45	12,7 ± 2,4	11,1 ± 1,8	-12,0 ± 7,3	*		1,3 ± 13,1		Ubetydelig		
Watt (eksakt pacing)	27,1 ± 5,2	27,7 ± 5,2				21,9 ± 7,5	22,1 ± 7,5								
70 % av VO_{2-peak}															
VO ₂ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	36,1 ± 3,1	34,6 ± 3,5	-4,2 ± 4,6		-0,46	33,9 ± 2,9	33,5 ± 3,0	-1,1 ± 4,1	-0,11		-3,1 ± 5,7	-0,34	Liten negativ		
VO ₂ (L · min ⁻¹)	2,18 ± 0,18	2,15 ± 0,26	-1,6 ± 4,5		-0,17	2,01 ± 0,23	2,05 ± 0,25	1,7 ± 6,0	0,12		-3,2 ± 6,7	-0,29	Liten negativ		
Prosent av VO _{2-peak} (eksakt)	67,6 ± 5,0	64,3 ± 3,8	-3,3 ± 3,8	*	-0,59	65,8 ± 4,9	62,3 ± 5,8	-3,5 ± 2,2	*		0,3 ± 4,1	0,06	Ubetydelig		
RER	0,91 ± 0,03	0,88 ± 0,03	-2,6 ± 1,8	*	-0,77	0,91 ± 0,03	0,87 ± 0,03	-3,7 ± 3,4	⊠		1,2 ± 3,9	0,35	Liten		
HF (slag · min ⁻¹)	159,4 ± 10,1	156,2 ± 11,5	-2,1 ± 3,4		-0,30	159,9 ± 12,7	151,7 ± 17,9	-5,4 ± 3,6	*		3,5 ± 5,0	0,47	Liten		
Borg (6-20)	13,8 ± 1,5	12,6 ± 2,1	-9,6 ± 7,8	⊠	-0,80	14,1 ± 1,6	14,0 ± 1,7	-1,1 ± 2,2	-0,09		-8,5 ± 8,1	-0,78	Moderat negativ		
Watt (eksakt pacing)	35,2 ± 7,2	34,9 ± 6,9				32,4 ± 10,2	32,2 ± 10,0								
80 % av VO_{2-peak}															
VO ₂ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	40,9 ± 4,0	38,9 ± 4,3	-4,8 ± 5,2		-0,47	38,7 ± 2,2	38,0 ± 3,1	-1,5 ± 4,6	-0,14		-3,4 ± 6,5	-0,34	Liten negativ		
VO ₂ (L · min ⁻¹)	2,47 ± 0,23	2,42 ± 0,31	-2,3 ± 5,2		-0,22	2,29 ± 0,26	2,33 ± 0,30	1,3 ± 5,7	0,09		-3,5 ± 6,9	-0,31	Liten negativ		
Prosent av VO _{2-peak} (eksakt)	76,4 ± 3,6	72,3 ± 5,7	-4,0 ± 4,7		-1,02	75,0 ± 5,7	70,7 ± 6,4	-4,3 ± 2,2	*		0,3 ± 5,1	0,07	Ubetydelig		
RER	0,92 ± 0,02	0,89 ± 0,02	-3,0 ± 1,5	*	-1,14	0,94 ± 0,02	0,90 ± 0,03	-4,7 ± 2,8	*		1,8 ± 3,2	0,68	Moderat		
HF (slag · min ⁻¹)	169,1 ± 10,0	166,7 ± 10,4	-1,5 ± 2,7		-0,22	171,3 ± 11,2	164,0 ± 17,3	-4,5 ± 3,5	*		3,2 ± 4,4	0,49	Liten		
Borg (6-20)	15,3 ± 1,1	15,1 ± 0,8	-1,3 ± 5,0		-0,16	16,1 ± 1,0	15,6 ± 1,6	-3,6 ± 3,5	-0,33		2,3 ± 6,0	0,25	Liten		
Watt (eksakt pacing)	43,0 ± 8,2	42,9 ± 8,1				42,5 ± 13,3	42,5 ± 13,2								
70 % av VO_{2-peak} (SC)															
VO ₂ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	36,8 ± 3,5	35,4 ± 3,7	-3,9 ± 4,8		-0,39	34,4 ± 3,2	33,7 ± 3,0	-2,0 ± 3,9	-0,18		-1,9 ± 5,9	-0,19	Ubetydelig		
VO ₂ (L · min ⁻¹)	2,22 ± 0,20	2,20 ± 0,27	-1,3 ± 4,7		-0,13	2,04 ± 0,21	2,05 ± 0,23	0,8 ± 4,3	0,06		-2,0 ± 5,9	-0,18	Ubetydelig		
Prosent av VO _{2-peak} (eksakt)	68,8 ± 4,0	65,8 ± 4,1	-3,1 ± 3,9		-0,68	66,8 ± 5,3	62,6 ± 6,3	-4,1 ± 3,0	*		1,1 ± 4,6	0,22	Liten		
RER	0,90 ± 0,02	0,86 ± 0,03	-3,7 ± 2,3	*	-0,98	0,89 ± 0,03	0,86 ± 0,01	-4,1 ± 2,9	*		0,5 ± 3,6	0,14	Ubetydelig		
HF (slag · min ⁻¹)	165,7 ± 11,4	166,0 ± 10,3	0,2 ± 3,3		0,03	166,3 ± 11,4	159,6 ± 17,8	-4,4 ± 3,5	⊠		4,8 ± 4,7	#	Moderat		
Borg (6-20)	14,6 ± 1,5	13,4 ± 1,1	-7,5 ± 6,2	*	-0,66	15,4 ± 1,2	14,7 ± 2,3	-5,0 ± 4,0	*		-2,6 ± 7,3	-0,23	Liten negativ		
Watt (exact pacing)	35,0 ± 6,6	35,3 ± 6,5				32,7 ± 10,5	31,9 ± 9,5								

ES: Effektsørrelse (Cohen's d). Terskelverdier: 0,2, 0,6, 1,2, 2,0 for liten, moderat, stor og veldig stor effekt. 90 % Konfidensintervall (KI), SD: Standardavvik. Snitt: gjennomsnitt.

VO_{2-peak}: høyeste målte oksygenopptak. VO₂: oksygenopptak/kostnad. RER: respiratory exchange ratio. HF: hjertefrekvens. Borg: opplevd anstrengelse. SC: slow component

*Sjignifikant endring fra pretest (p<0,05). ⊠ Sjignifikant forskjell i endring mellom grupper (p<0,1)

Vedlegg III

Tabellvedlegg III: Kinematiske data på submaksimale belastninger i staking, endringer gjennom intervensjonen og sammenligning av gruppene.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)				Kontrollgruppe (n = 7)				Grupesammenligning			
	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Forskjell (% snitt ± KI)	ES	Kvalitativ vurdering	
60 % av VO_{2-peak}												
Syklustid (s)	1,23 ± 0,19	1,27 ± 0,25	2,9 ± 6,5	0,15	1,17 ± 0,15	1,19 ± 0,10	2,2 ± 6,2	0,14	0,7 ± 8,3	0,05	Ubetydelig	
Stakerekvens (Hz)	0,83 ± 0,15	0,81 ± 0,17	-2,8 ± 6,2	-0,15	0,87 ± 0,12	0,85 ± 0,07	-2,1 ± 5,9	-0,14	-0,7 ± 8,1	-0,05	Ubetydelig	
Arbeidsfase (s)	0,43 ± 0,05	0,46 ± 0,07	6,0 ± 7,4	0,43	0,42 ± 0,08	0,45 ± 0,05	6,2 ± 6,8	0,32	-0,2 ± 8,8	-0,02	Ubetydelig	
Arbeidsfase (%)	35,02 ± 2,82	36,07 ± 2,97	1,0 ± 1,4	0,33	36,32 ± 3,58	37,75 ± 3,49	1,4 ± 1,0	*	-0,4 ± 1,6	-0,11	Ubetydelig	
Restitusjonsfase (s)	0,80 ± 0,15	0,82 ± 0,19	1,2 ± 7,0	0,05	0,74 ± 0,10	0,74 ± 0,08	-0,1 ± 6,5	-0,01	1,4 ± 9,0	0,07	Ubetydelig	
Restitusjonsfase (%)	64,98 ± 2,82	63,93 ± 2,97	-1,0 ± 1,4	-0,33	63,68 ± 3,58	62,25 ± 3,49	-1,4 ± 1,0	*	0,4 ± 1,6	0,11	Ubetydelig	
Kraft per syklus (N)	33,73 ± 10,05	35,79 ± 12,12	5,3 ± 7,1	0,15	25,75 ± 10,19	26,51 ± 10,51	2,9 ± 5,8	0,07	2,3 ± 8,4	0,06	Ubetydelig	
70 % av VO_{2-peak}												
Syklustid (s)	1,17 ± 0,18	1,21 ± 0,23	3,0 ± 5,3	0,17	1,11 ± 0,11	1,13 ± 0,10	2,4 ± 6,1	0,22	0,5 ± 7,4	0,04	Ubetydelig	
Stakerekvens (Hz)	0,87 ± 0,15	0,85 ± 0,17	-2,9 ± 5,0	-0,17	0,91 ± 0,09	0,89 ± 0,08	-2,4 ± 5,8	-0,22	-0,5 ± 7,3	-0,04	Ubetydelig	
Arbeidsfase (s)	0,39 ± 0,04	0,42 ± 0,07	7,5 ± 8,4	0,57	0,37 ± 0,06	0,39 ± 0,06	6,6 ± 8,9	0,35	0,8 ± 0,6	0,06	Ubetydelig	
Arbeidsfase (%)	33,20 ± 3,10	34,57 ± 2,30	1,4 ± 1,4	α	33,37 ± 3,31	34,74 ± 3,64	1,4 ± 1,5	0,36	0,0 ± 1,9	0,00	Ubetydelig	
Restitusjonsfase (s)	0,79 ± 0,15	0,80 ± 0,17	0,9 ± 4,9	0,04	0,74 ± 0,07	0,74 ± 0,07	0,3 ± 6,1	0,03	0,6 ± 7,3	0,04	Ubetydelig	
Restitusjonsfase (%)	66,80 ± 3,10	65,43 ± 2,30	-1,4 ± 1,4	α	66,63 ± 3,31	65,26 ± 3,64	-1,4 ± 1,5	-0,36	0,0 ± 1,9	0,00	Ubetydelig	
Kraft per syklus (N)	42,04 ± 14,07	43,12 ± 14,76	2,3 ± 5,9	0,06	35,91 ± 13,01	36,87 ± 13,97	2,1 ± 5,1	0,05	0,1 ± 7,4	0,00	Ubetydelig	
80 % av VO_{2-peak}												
Syklustid (s)	1,12 ± 0,17	1,12 ± 0,22	-0,5 ± 6,1	-0,03	1,04 ± 0,09	1,09 ± 0,10	5,6 ± 7,1	0,54	-5,8 ± 8,0	-0,45	Liten negativ	
Stakerekvens (Hz)	0,91 ± 0,13	0,92 ± 0,19	0,5 ± 6,2	0,03	0,97 ± 0,08	0,92 ± 0,08	-5,3 ± 6,4	-0,54	6,2 ± 9,0	0,45	Liten	
Arbeidsfase (s)	0,35 ± 0,04	0,37 ± 0,06	5,7 ± 8,1	0,43	0,33 ± 0,06	0,36 ± 0,05	9,7 ± 10,2	0,48	-3,6 ± 10,8	-0,25	Liten negativ	
Arbeidsfase (%)	31,43 ± 2,93	33,33 ± 2,50	1,9 ± 1,2	*	31,53 ± 3,49	32,71 ± 3,31	1,2 ± 1,5	0,30	0,7 ± 1,8	0,22	Liten	
Restitusjonsfase (s)	0,77 ± 0,15	0,75 ± 0,16	-3,3 ± 6,2	-0,17	0,71 ± 0,06	0,74 ± 0,08	3,8 ± 7,0	0,42	-6,8 ± 8,1	-0,47	Liten negativ	
Restitusjonsfase (%)	68,57 ± 2,93	66,67 ± 2,50	-1,9 ± 1,2	*	68,47 ± 3,49	67,29 ± 3,31	-1,2 ± 1,5	-0,29	-0,7 ± 1,8	-0,22	Liten negativ	
Kraft per syklus (N)	48,98 ± 16,47	49,04,17,21	-0,7 ± 6,2	-0,02	43,96 ± 14,89	47,13 ± 18,77	5,7 ± 7,5	0,15	-6,0 ± 8,2	-0,19	Ubetydelig	
70 % av VO_{2-peak} (SC)												
Syklustid (s)	1,12 ± 0,17	1,15 ± 0,21	2,1 ± 5,2	0,13	1,07 ± 0,12	1,12 ± 0,10	5,1 ± 6,4	0,38	-2,9 ± 7,1	-0,21	Liten negativ	
Stakerekvens (Hz)	0,91 ± 0,13	0,90 ± 0,16	-2,0 ± 5,0	-0,13	0,95 ± 0,11	0,90 ± 0,08	-4,9 ± 5,8	-0,38	2,9 ± 7,6	0,21	Liten	
Arbeidsfase (s)	0,36 ± 0,04	0,38 ± 0,06	6,9 ± 4,9	*	0,35 ± 0,05	0,38 ± 0,05	7,7 ± 9,0	0,48	-0,7 ± 9,0	-0,05	Ubetydelig	
Arbeidsfase (%)	32,23 ± 2,37	33,72 ± 1,82	1,5 ± 1,1	*	32,93 ± 3,41	33,70 ± 3,15	0,8 ± 2,2	0,20	0,7 ± 2,3	0,25	Liten	
Restitusjonsfase (s)	0,76 ± 0,13	0,76 ± 0,15	-0,1 ± 6,0	-0,01	0,72 ± 0,09	0,74 ± 0,08	3,9 ± 7,7	0,25	-3,9 ± 8,6	-0,25	Liten negativ	
Restitusjonsfase (%)	67,77 ± 2,37	66,28 ± 1,82	-1,5 ± 1,1	*	67,07 ± 3,41	66,30 ± 3,15	-0,8 ± 2,2	-0,20	-0,7 ± 2,3	-0,25	Liten negativ	
Kraft per syklus (N)	39,78 ± 12,58	41,07 ± 12,92	3,1 ± 5,3	0,09	35,22 ± 14,02	36,02 ± 12,88	3,1 ± 6,0	0,07	-0,1 ± 7,2	0,00	Ubetydelig	

ES: Effektsørrelse (Cohen's d). Terskelverdier: 0,2, 0,6, 1,2, 2,0 for liten, moderat, stor og veldig stor effekt. 90 % Konfidensintervall (KI). SD: Standardavvik. Snitt: gjennomsnitt.

VO_{2-peak}: høyeste målte oksygenopptak. Hz: hertz (stavtatt per sekund). N: newton. SC: slow component.

*Sjignifikant endring fra pretest (p<0,05). α Sjignifikant endring fra pretest (p<0,1).

Vedlegg IV

Tabellvedlegg IV: Kinematiske data på sprinttesten, avsluttesten og testen for maksimal anaerob effekt, endringer gjennom intervensjonen og sammenligning av gruppene.

	Intervensjonsgruppe (n = 9)				Kontrollgruppe (n = 7)				Grupperammenligning			
	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Pretest (Snitt ± SD)	Posttest (Snitt ± SD)	Endring (%) (Snitt ± KI)	ES	Forskjell (% snitt ± KI)	ES	Kvalitativ vurdering	
Sprinttest												
Syklustid (s)	0,80 ± 0,07	0,84 ± 0,07	4,6 ± 5,0	0,45	0,90 ± 0,10	0,90 ± 0,09	0,5 ± 7,6	0,04	4,0 ± 8,8	0,34	Liten	
Stakrefrekvens (Hz)	1,25 ± 0,11	1,20 ± 0,11	-4,4 ± 4,6	-0,45	1,13 ± 0,13	1,12 ± 0,10	-0,5 ± 7,5	-0,04	-3,9 ± 8,1	-0,34	Liten negativ	
Arbeidsfase (s)	0,28 ± 0,03	0,29 ± 0,02	1,5 ± 6,4	0,11	0,33 ± 0,10	0,31 ± 0,05	-2,9 ± 19,7	-0,09	4,5 ± 21,7	0,20	Liten	
Arbeidsfase (%)	35,14 ± 3,26	34,00 ± 1,63	-1,1 ± 2,4	-0,31	35,97 ± 7,39	34,30 ± 3,03	-1,7 ± 5,7	-0,20	0,5 ± 6,0	0,10	Ubetydelig	
Restitusjonsfase (s)	0,52 ± 0,06	0,56 ± 0,06	6,5 ± 7,6	0,52	0,57 ± 0,04	0,59 ± 0,05	3,7 ± 7,4	0,40	2,7 ± 9,7	0,24	Liten	
Restitusjonsfase (%)	64,86 ± 3,26	66,00 ± 1,63	1,1 ± 2,4	0,31	64,03 ± 7,39	65,70 ± 3,03	1,7 ± 5,7	0,20	-0,5 ± 6,0	-0,10	Ubetydelig	
Kraft per syklus (N)	49,96 ± 9,79	60,91 ± 10,00	22,5 ± 12,4	0,93	57,96 ± 14,62	67,53 ± 16,66	16,9 ± 11,0	*	4,8 ± 13,5	0,19	Ubetydelig	
Avsluttest												
Syklustid (s)	0,90 ± 0,10	0,87 ± 0,09	-3,5 ± 4,7	-0,30	0,92 ± 0,07	0,93 ± 0,05	1,9 ± 6,2	0,21	-5,2 ± 6,9	-0,56	Liten negativ	
Stakrefrekvens (Hz)	1,12 ± 0,11	1,17 ± 0,13	3,6 ± 5,1	0,30	1,10 ± 0,08	1,07 ± 0,07	-1,8 ± 6,0	-0,21	5,5 ± 7,7	0,56	Liten	
Arbeidsfase (s)	0,29 ± 0,02	0,29 ± 0,03	3,2 ± 6,2	0,37	0,29 ± 0,04	0,32 ± 0,05	11,7 ± 9,1	*	-7,6 ± 8,7	-0,70	Moderat negativ	
Arbeidsfase (%)	31,96 ± 2,83	34,06 ± 1,66	2,1 ± 2,2	0,67	31,31 ± 2,91	34,39 ± 3,99	3,1 ± 2,0	*	-1,0 ± 2,8	-0,33	Liten negativ	
Restitusjonsfase (s)	0,61 ± 0,09	0,57 ± 0,07	-6,4 ± 6,7	-0,44	0,63 ± 0,04	0,61 ± 0,04	-2,8 ± 7,0	-0,39	-3,7 ± 9,1	-0,33	Liten negativ	
Restitusjonsfase (%)	68,04 ± 2,83	65,94 ± 1,66	-2,1 ± 2,2	-0,67	68,69 ± 2,91	65,61 ± 3,99	-3,1 ± 2,0	*	1,0 ± 2,8	0,33	Liten	
Kraft per syklus (N)	56,04 ± 11,19	61,99 ± 11,09	10,9 ± 9,2	0,47	60,41 ± 17,96	69,19 ± 18,16	15,2 ± 9,3	*	-3,7 ± 10,4	-0,14	Ubetydelig	
Maksimal anaerob effekt												
Syklustid (s)	0,72 ± 0,07	0,73 ± 0,05	2,2 ± 4,3	0,20	0,73 ± 0,07	0,74 ± 0,08	1,6 ± 7,4	0,14	0,6 ± 7,8	0,06	Ubetydelig	
Stakrefrekvens (Hz)	1,41 ± 0,14	1,38 ± 0,09	-2,1 ± 4,2	-0,20	1,38 ± 0,13	1,36 ± 0,15	-1,5 ± 7,0	-0,14	-0,6 ± 7,8	-0,06	Ubetydelig	
Arbeidsfase (s)	0,38 ± 0,05	0,39 ± 0,04	3,5 ± 6,8	0,25	0,37 ± 0,04	0,38 ± 0,05	0,4 ± 10,1	0,03	3,1 ± 11,6	0,25	Liten	
Arbeidsfase (%)	52,87 ± 2,26	53,55 ± 2,34	0,7 ± 1,9	0,27	51,41 ± 2,93	50,80 ± 2,13	-0,6 ± 2,1	-0,18	1,3 ± 2,6	0,47	Liten	
Restitusjonsfase (s)	0,34 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,7 ± 4,6	0,07	0,35 ± 0,04	0,36 ± 0,04	2,9 ± 5,8	0,20	-2,2 ± 6,6	-0,20	Liten negativ	
Restitusjonsfase (%)	47,13 ± 2,26	46,45 ± 2,34	-0,7 ± 1,9	-0,27	48,59 ± 2,93	49,20 ± 2,13	0,6 ± 2,0	0,18	-1,3 ± 2,6	-0,47	Liten negativ	
Kraft per syklus (N)	88,55 ± 15,81	104,80 ± 10,52	19,7 ± 9,3	0,84	93,40 ± 22,00	109,47 ± 25,80	17,5 ± 11,9	*	1,8 ± 12,1	0,08	Ubetydelig	

ES: Effektsørrelse (Cohen's d). Terskelverdier: 0,2, 0,6, 1,2, 2,0 for liten, moderat, stor og veldig stor effekt. 90 % Konfidensintervall (KI). SD: Standardavvik. Snitt: gjennomsnitt.

Hz: hertz (stavtak per sekund). N: newton.

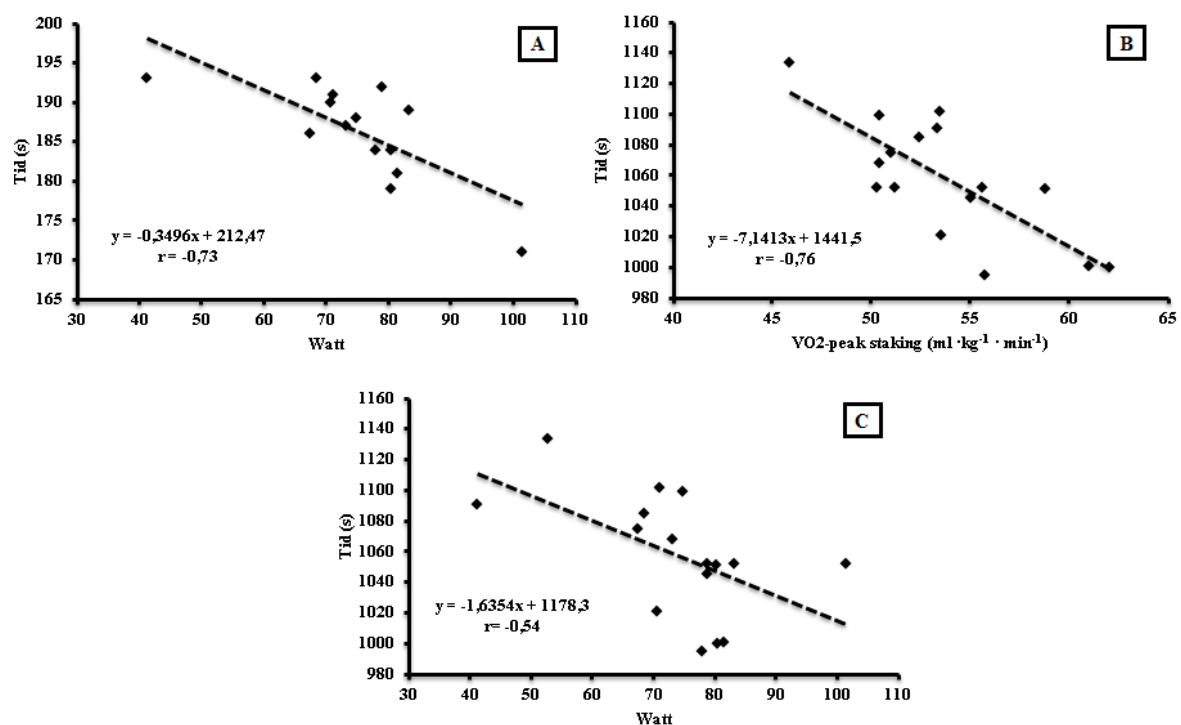
*Sjgnifikant endring fra pretest (p<0,05).

Vedlegg V

Validitet og reliabilitet:

Validitet av laboratorietesting

Uken etter posttesting var det nasjonale uttaksrenn til Jr. VM sesongen 2013/ 2014. Dag 1 var det sprint skøyting og dag 2 var det 5 km klassisk distanse, hvor henholdsvis 14 og 16 av deltakerne i prosjektet deltok. Effektproduksjonen på sprinttesten hadde veldig høy korrelasjon med prologtiden på sprintkonkurransen ($r = -0,73$; $p < 0,01$) (figur under, A). Tiden på 5 km klassisk hadde veldig høy korrelasjon med $VO_{2\text{-peak}}$ staking ($r = -0,76$; $p < 0,01$) (figur under, B). Tiden brukt på distanseløpet hadde også høy korrelasjon med effektproduksjonen på sprinttesten ($r = -0,54$; $p < 0,05$) (figur under, C).



(A): Sammenhengen mellom prologtiden under sprint skøyting og effektproduksjonen under sprinttesten i stakerometeret ($n=14$) ($r = -0,73$; $p < 0,01$). (B): Sammenhengen mellom løpstiden på 5km klassisk og $VO_{2\text{-peak}}$ ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) staking målt i laboratoriet ($n=16$) ($r = -0,76$; $p < 0,01$). C: Sammenhengen mellom løpstiden på 5km klassisk og effektproduksjonen under sprinttesten i stakerometeret ($n=16$) ($r = -0,54$; $p < 0,05$).

Reliabilitet av ergospirometrisystemene

Reliabiliteten av ergospirometrisystemene under prosjektperioden ble undersøkt ved at fem personer syklet på standardiserte wattbelastninger på en ergometersykkel (Monark Ergomedic 839E; Monark Exercise AB, Vansbro, Sverige) repeterte ganger. Hver person syklet på tre belastninger (range: 100- 250W; O_2 - krav $1,8- 3,7 L \cdot min^{-1}$) med varighet på 5 min. O_2 - kostnad ble tatt som et gjennomsnitt fra min 3- 5. CV på

ergospirometrisystemet på laboratoriet der staketestene ble gjennomført var 1,2 % (IKK= 1,00), regnet ut på bakgrunn av 51 stk steady- state målinger. Dette inkluderte testpersonenes biologiske variasjon, variasjonen i ergospirometrisystemet og variasjonen i motstanden på sykkelen. På laboratoriet der løpetestene ble gjennomført var CV 1,7 % (IKK= 1,00), på bakgrunn av 6 stk steady state målinger (kun en person). De to analysatorene hadde en differanse på 2,1 % ($r= 0,99$) på bakgrunn av 18 steady state målinger på 3 personer.

Reliabilitet av stakeergometeret

Reliabilitet av stakeergometeret ble undersøkt i forkant av prosjektperioden og underveis i testperiodene. En person staket på 3- 4 standardiserte belastninger (25, 50, 75 og 100 W) i a 5 min, hvor O₂- kostnad ble målt. CV var 2,2 % (IKK= 1,00) basert på 35 stk steady state målinger.

Estimert reliabilitet av 1 RM test

Reliabiliteten av 1 RM- testen ble estimert ved å sammenligne 1 RM på tilvenningsdagene og selve testdagene. Resultatet på tilvenningen før pretest og pretest differerte med $2,0 \pm 2,2$ % (gjennomsnitt \pm 90 % KI), og CV mellom de to dagene var 3,9 % (IKK= 0,92). Resultatet på tilvenningen før posttest og posttest differerte med $0,2 \pm 2,0$ % (gjennomsnitt \pm 90 % KI), og CV mellom de to dagene var 3,2 % (IKK= 0,97). Tilvenning til pretest ble gjennomført som andre eller tredje treningsøkt på de aktuelle dagene, og dermed var utøverne mer slitne og løftet antageligvis mindre enn om de var uthvilte. Styrketilvenningen til posttest ble gjennomført etter tilvenningen til stakeergometeret. Disse faktorene reduserer styrken i reliabilitetsmålingene, men indikerer også enda mindre læringseffekt og CV på testene enn de oppgitte verdiene.

Vedlegg VI

Maximal strength training does not improve double-poling performance in well-trained junior female cross-country skiers

Ø. Skattebo¹, J. Hallén¹, B. R. Rønnestad², T. Losnegard¹

¹Norwegian School of Sport Sciences, Department of Physical Performance, Oslo, Norway, ²Lillehammer University College, Lillehammer, Norway
Corresponding author: Øyvind Skattebo, E-mail: oyvindsk@student.nih.no

Purpose: Performance in cross-country skiing is highly related to maximal aerobic capacity. Thus, a high volume of endurance training is a necessity. However, the introduction of sprint and mass start has increased the importance of generating high power outputs in parts of the races. Maximal strength and power output are closely related and maximal strength training has for decades been hypothesized to have a beneficial effect on endurance performance. Therefore, the present study investigated the effect of supplementing a high volume of endurance training with maximal strength training on performance and predictors of performance in female cross-country skiers.

Methods: Sixteen competitive female cross country skiers (17 ± 1 yrs, 60 ± 6 kg, 169 ± 6 cm, 59.6 ± 4.5 ml · kg⁻¹ · min⁻¹) were assigned either to an intervention group (INT; n=9) or a control group (CON; n=7). The intervention period was conducted in late preparation phase, lasted 10 weeks and consisted of two weekly maximal strength sessions on the upper-body muscles. Before pre and post testing, subjects conducted extensive familiarizations on equipment and protocols in which performance (poling ergometer) and 1 repetition maximum (RM) strength (seated pull-down) were tested. Measurements included submaximal O₂-cost, anaerobic power (AnP; 20sec all-out from rest), sprint abilities (SpA; 3min all-out from rest), finishing abilities (FiA; 3min all-out after a prolonged fatiguing load) and VO_{2-peak}.

Statistics: Data were log transformed before calculating relative changes, group-differences (mean ± 90% CI) and magnitude of difference (Cohen's *d* effect size (ES)). Pre- post and group interactions were respectively analyzed with Student's paired t-test and two-way repeated measures ANOVA.

Results: 1RM-strength increased more in INT ($23.8 \pm 4.8\%$; $p < 0.01$; ES: 2.22) than in CON ($7.9 \pm 6.6\%$; $p < 0.05$; ES: 0.33) with a groups difference of $14.7 \pm 7.9\%$ ($p < 0.01$; ES: 0.90). The changes in AnP, SpA and FiA were similar for both groups (difference: -0.6 to -1.8%; $p > 0.6$; ES: -0.04 to -0.07). AnP increased $17.1 \pm 5.7\%$ ($p < 0.01$; ES: 1.13) in INT and $15.7 \pm 4.4\%$ ($p < 0.01$; ES: 0.46) in CON. SpA increased $17.1 \pm 6.9\%$ ($p < 0.01$; ES: 1.04) in INT and $16.2 \pm 3.0\%$ ($p < 0.01$; ES: 0.48) in CON. FiA increased $14.9 \pm 4.9\%$ ($p < 0.01$; ES 1.06) in INT and $13.1 \pm 3.5\%$ ($p < 0.01$; ES: 0.33) in CON. Changes in VO_{2-peak} showed a small group difference ($-3.9 \pm 4.8\%$; $p > 0.1$; ES: -0.42), with a trivial change in INT ($0.6 \pm 1.9\%$; $p > 0.5$; ES: 0.05) and a small increase in CON ($4.7 \pm 5.0\%$; $p > 0.1$; ES: 0.58). Relative O₂-cost at three loads between 60 and 80 % of VO_{2-peak} showed small group differences (-3.1 to -3.4% ; $p > 0.2$; ES: -0.29 to -0.34), with small decreases in INT (-6.3 to -4.2% ; $p < 0.05$ to $p = 0.15$; ES: -0.57 to -0.46) and trivial-small changes in CON (-3.3 to -1.1% ; $p > 0.2$; ES: -0.36 to -0.11).

Conclusions: Supplementing an already high volume of endurance training with maximal strength training in the late preparatory period for top junior female athletes had trivial-small effects on O₂-cost and short-lasting performance.

Vedlegg VII

Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjektet:

”Effekten av maksimal styrketrening på prestasjonen i langrenn”

Bakgrunn og hensikt

Dette er et spørsmål til deg om å delta i en forskningsstudie for å undersøke hvilke effekter maksimal styrketrening har på prestasjonen i langrenn. Majoriteten av tidligere studier har inkludert menn som deltagere og resultatene er noe uklare. Det er derimot indikasjoner for at kvinner har mer å hente ved å tilføre styrketrening til sitt treningsprogram på prestasjonen i langrenn enn det menn har. Dermed vil det være interessant å se på hvordan maksimal styrketrening påvirker prestasjonen i langrenn hos kvinnelige junior langrennsløpere. Denne studien vil forhåpentligvis gi indikasjoner på hvordan styrketrening bør anvendes i treningsarbeidet hos langrennsløpere i fremtiden. Studien er et samarbeidsprosjekt mellom Norges Idrettshøgskole (NIH) og Høgskolen i Lillehammer (HiL). Masterstudenten Øyvind Skattebo kommer til å ha det praktiske ansvaret underveis i studien og prosjektleder er forsker Thomas Losnegard.

Hva innebærer studien?

Det rekrutteres 25 kvinnelige deltagere i alderen 15-20 år som konkurrerer aktivt i juniorklassene i langrenn. Selve treningsintervensjonen kommer til å vare i ti uker der det gjennomføres ulike tester før og etter. Dere selekterer dere selv til enten intervensjonsgruppe eller en kontrollgruppe. Intervensjonsgruppen skal tilføre to styrkeøkter i uken til sitt vanlige treningsprogram og kontrollgruppen skal fortsette med sitt vanlige treningsprogram gjennom en periode på 10 uker. Styrketreningen kommer til å gjennomføres som maksimal styrketrening med få repetisjoner og tung motstand. Kontrollgruppen skal ikke trene denne typen styrketrening i løpet av intervensjonsperioden. Kontrollgruppen kan derimot fortsette å trene stabiliserende styrke og styrketrening som gjennomføres med mer enn 25 repetisjoner per sett. Varigheten på studien er fra 19. august til 06. desember 2013 og kommer til å kreve en del tid fra deg under de to testperiodene, samt at du må gjennomføre to styrkeøkter i uken i tillegg til ditt vanlige treningsprogram dersom du blir med i intervensjonsgruppen. I tillegg skal det gjennomføres en tilvenning til de ulike testene før pretesten. Testene som skal

gjennomføres før og etter intervensjonen er tester av maksimalstyrke, maksimalt oksygenopptak, arbeidsøkonomi, anaerob kapasitet og prestasjonen i staking. Det kommer også til å bli testing av maksimalstyrke midtveis i studien.

Mulige fordeler og ulemper

Intervensjonen og testingen vil medføre tunge fysiske anstrengelser som kan oppleves som kortvarig ubehagelig for deg og du må sette av tid til å delta under pre- og posttesting til avtalte tidspunkt. De som rekrutteres til styrkegruppen må tilføre to styrkeøkter i uken i tillegg til sitt vanlige treningsprogram. Fordeler ved å delta i prosjektet er tilgang til gratis tester av ditt maksimale oksygenopptak ved fire anledninger, samt mål på din anaerobe kapasitet og arbeidsøkonomi. Du vil også få tilgang til dine resultater etter studien.

Hva skjer med prøvene og informasjonen om deg?

Informasjonen som registreres om deg og resultatene fra testene skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Alle opplysningene og resultater vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennende opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger og resultater gjennom en navneliste. Dette betyr at denne informasjonen er aidentifisert. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres.

Frivillig deltakelse

Det er frivillig å delta i studien. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke til å delta i studien. Dette vil ikke få konsekvenser for din videre behandling. Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Om du nå sier ja til å delta, kan du senere trekke tilbake ditt samtykke uten at det påvirker din øvrige behandling. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål om studien, kan du kontakte Øyvind Skattebo (tlf: 97105742, e-post: oyvindsk@student.nih.no) eller Thomas Losnegard (tlf: 99734184, e-post: thomas.losnegard@nih.no).

Ytterligere informasjon om studien finnes i kapittel A. Ytterligere informasjon om biobank, personvern og forsikring finnes i kapittel B. Samtykkeerklæring følger etter kapittel B.

Kapittel A- utdypende forklaring av hva studien innebærer

Kriterier for deltagelse

Kriteriene for deltagelse er at du er kvinne og konkurrerer aktivt i en av juniorklassene i langrenn. Det settes verken inklusjons- eller eksklusjonskriterier med tanke på tidligere bakgrunn med styrketrening. Underveis i studien settes det ingen begrensninger til samtidig utholdenhetstrening, derimot må deltagerne følge de retningslinjene som blir satt med tanke på treningen av maksimalstyrke.

Bakgrunnsinformasjon om studien

Det har forekommet en stor utvikling i langrennssporten de siste to tiårene ved innføringen av distansen sprint i sesongen 1996/97 og ved et økende antall løp med fellesstart. Som en konsekvens har kravet til maksimal styrke, maksimal kraftutvikling og anaerob kapasitet økt i denne idretten. Flere tverrsnitt- og intervensjonsstudier har i de senere år undersøkt sammenhengen mellom maksimalstyrke og ulike parametre som er viktige for prestasjonen i ”moderne langrenn”, samt hvilke effekt styrketrening har på disse parameterne. Det er blitt funnet moderate til sterke korrelasjoner mellom evnen til å generere stor kraft i overkroppen og prestasjonen på 50 og 1000 meter sprint staking. Det er også blitt funnet signifikante korrelasjoner mellom 1 repetisjon maksimum (RM) i sittende nedtrekk og prestasjonen i en 1,1 km motbakketest staking, samt wattproduksjonen på en fem minutters og en 20 sekunders all- out test i et stakeergometer. Sammenhengen var størst hos de svakeste deltagerne i studien, som var kvinner, og det ble argumentert for at kvinner muligens har mer å hente ved å tilføre styrketrening i treningsprogrammet enn det menn. Det vil dermed være interessant å undersøke hvilke effekter styrketrening har på prestasjonen i staking og hva de eventuelle endringene i prestasjonen skyldes hos kvinnelige langrennsløpere.

Tester og undersøkelser

Før pretesting skal deltagerne gjennom en tilvenning til styrkeøvelsene som skal benyttes under 1RM- testene og gjennom styrkeintervensjonen, og deltagerne skal også tilvennes stakeergometeret som skal benyttes ved pre- og posttesting. Tilvenningen skal gjennomføres gjennom to økter for hver deltager og skal foregå i løpet av de to ukene før pretestingen starter. Testingen kommer til å foregå på fire dager med en til to fridager mellom hver testdag og hele testperioden strekker seg over ni dager.

På testdag nr. 1 og 2 gjennomføres to protokoller i et stakeergometer som bl.a. inneholder målinger av arbeidsøkonomi, anaerob effekt, anaerob kapasitet og det maksimale oksygenopptaket ved staking. I tillegg tilvennes deltagerne til styrketesten. Styrketestene foregår på testdag nr. 3 og VO₂-maks løping måles på testdag nr. 4. Deltagerne får en til to fridager mellom hver testdag og dagen før testdag kan benyttes til rolig trening, men deltagerne blir instruert til ikke å overstige 75 % av maksimal hjertefrekvens og ikke trene mer enn en og en halv time disse dagene. Man skal ikke trene før testen på testdagen, men står fritt til å trene i etterkant. 1RM styrke måles også midtveis under intervensjonen og for en fullstendig oversikt over testbatteriet henvises det til de to tabellene under.

Pretesting

	Hva	Ca. tidsbruk	Sted
	Tilvenning		
Uke 34	Tilvenning stakeergometer	1time	Skeikampen
Uke 35	Tilvenning styrke	45min	NTG
Uke 35- 36	Testing		
Testdag 1	Stakeergometertest 1	45min	NTG
Testdag 2	Stakeergometertest 2	45min	NTG
Testdag 3	1RM- styrke	45min	NTG
Testdag 4	VO ₂ -maks løping	35min	HiL, testlaboratorium

Posttesting og tester midtveis

	Hva	Ca. tidsbruk	Sted
	Testing midtveis		
Uke 43	1RM- styrke	45min	NTG
Uke 48 /49	Posttesting		
Testdag 1	Stakeergometertest 1	45min	NTG
Testdag 2	Stakeergometertest 2	45min	NTG
Testdag 3	1RM- styrke	45min	NTG
Testdag 4	VO ₂ -maks løping	35min	HiL, testlaboratorium

Treningen

Deltagerne i kontrollgruppen skal fortsette sitt vanlige treningsprogram satt opp sammen med sine respektive trenere. Deltagerne i kontrollgruppen skal derimot ikke trene maksimal styrketrening, men kan forstette å trene stabiliserende styrke og styrketrening med en lavere motstand. En lav motstand defineres som en motstand som kan løftes minimum 25 repetisjoner per sett.

De som blir rekruttert til intervensjonsgruppen skal fortsette med sitt vanlige treningsprogram, men skal i tillegg tilføre to økter i uken med maksimal styrketrening på overkroppsmuskulaturen. Styrketreningsøktene har en varighet på maksimalt 45 minutter inklusiv oppvarming og inneholder tre styrkeøvelser: sittende overtrekk, stående staking m/benk og triceps- press. Antall repetisjoner varierer mellom ti og fire i løpet av intervensjonen og hver øvelse skal gjennomføres med tre sett. Styrketreningsøktene skal gjennomføres med minimum 48 timers mellomrom for å sikre god restitusjon mellom øktene.

Tidsplan

Studien strekker seg fra 19. august til 06. desember 2013. Tilvenning kommer til å foregå i uke 34 og uke 35. Pretesting skal i hovedsak foregå i uke 35 og 36, men dersom dette ikke passer for alle deltagerne kommer også uke 37 til å settes til disposisjon for testing. Intervensjonen varer i ti uker, fra uke 38 og til og med uke 47. Posttesting etter avsluttet intervensjon foregår i uke 48 og uke 49.

Mulige ulemper ved å delta

Intervensjonen og testingen vil medføre tunge fysiske anstrengelser som kan oppleves som ubehagelig for deg. Derimot antas dette å være på lik linje som det ubehag du måtte oppleve ellers under din daglige trening og de konkurransene du allerede deltar i. Ulempene for deg under prosjektet er at du må sette av tid til å delta under pre- og posttesting til avtalte tidspunkt.

Mulige fordeler ved å delta i studien

Fordelene for deg som deltager i studien er mange. Hver enkelt deltager vil bl.a. få målt maksimalt oksygenopptak, i både staking og løping, arbeidsøkonomi og anaerob kapasitet ved to separate anledninger og man vil dermed se endringen av disse parametrene over en

lengre tidsperiode. I tillegg vil de som kommer i intervensjonsgruppen få innlæring i hvordan man bør trene maksimalstyrke effektivt, samt god oppfølging av veiledere underveis gjennom studien.

Studiedeltagers ansvar

Ved å si ja til deltagelse i studien har du som deltager ansvar for å møte opp til avtalt tid for å gjennomføre tilvenning og testing. Du må også overholde bestemmelsene ved å enten tilføre to økter i uken med maksimal styrketrening eller å unngå slik type trening i studieperioden dersom du blir valt til kontrollgruppen. Du har som deltager ansvar for å informere prosjektledelsen om eventuelle hendelser eller andre forhold som kan tenkes å påvirke resultatene.

Studiedeltagers rettigheter

Deltagerne i studien skal orienteres så raskt som mulig dersom ny informasjon blir tilgjengelig som kan påvirke deres villighet til å delta i studien. Deltagerne skal også opplyses om mulige beslutninger/ situasjoner som gjør at deres deltagelse i studien kan bli avsluttet tidligere enn planlagt.

Kapittel B - Personvern, biobank, økonomi og forsikring

Personvern

Opplysninger som registreres om deg er alder, kjønn, høyde, vekt, din totale treningsmengde i løpet av studien, data fra styrketester, maksimalt oksygenopptak, anaerob kapasitet og resultat fra prestasjonstestene i staking.

De som har tilgang til datamaterialet er Bent Ronny Rønnestad (HiL), Jostein Hallén (NIH), Thomas Losnegard (NIH) og Øyvind Skattebo (NIH).

NIH ved direktør Lise Sofie Woie er databehandlingsansvarlig.

Rett til innsyn og sletting av opplysninger om deg og sletting av prøver

Hvis du sier ja til å delta i studien, har du rett til å få innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg. Du har videre rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene vi har registrert. Dersom du trekker deg fra studien, kan du kreve å få slettet innsamlede prøver og opplysninger, med mindre opplysningene allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner.

Økonomi

Studien er finansiert gjennom forskningsmidler fra NIH. Det er ingen interessekonflikter knyttet til finansieringen.

Forsikring

NIH er en statlig institusjon og er dermed selvassurandør. Eventuelle skader på deltagere i forbindelse med forskningsprosjekt i regi av NIH blir dekket av NIH.

Informasjon om utfallet av studien

Utfallet i studien vil bli publisert offentlig og være tilgjengelig i forskningsartikler.

Resultatene blir aidentifiserte og kan ikke spores tilbake til deg. Ønsker du tilgang til dine egne individuelle resultater får du selvsagt tilgang til disse ved å kontakte oss.

Samtykke til deltakelse i studien

Jeg er villig til å delta i studien

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

Stedfortredende samtykke når berettiget, enten i tillegg til personen selv eller istedenfor

(Signert av nærstående, dato)

Jeg bekrefter å ha gitt informasjon om studien

(Signert, rolle i studien, dato)

Vedlegg VIII

Treningsdagbok styrketrening i "Langrennsprosjekt"

Deltakernummer _____

Uke: _____

Dato dag 1: _____

Dato dag 2: _____

Uke 1

Sittende overtrekk

Dag 1			
	Reps	Reps klart	Motstand
Oppvar 1 (40% av 1RM)	10		kg
Oppvar 2 (75% av 1RM)	6		kg
Serie 1	10		kg
Serie 2	10		kg
Serie 3	10		kg

Dag 2			
	Reps	Reps klart	Motstand
Oppvar 1 (40% av 1RM)	10		kg
Oppvar 2 (75% av 1RM)	6		kg
Serie 1	6		kg
Serie 2	6		kg
Serie 3	6		kg

Staking med benk

Dag 1			
	Reps	Reps klart	Motstand
Serie 1	10		kg
Serie 2	10		kg
Serie 3	10		kg

Dag 2			
	Reps	Reps klart	Motstand
Serie 1	6		kg
Serie 2	6		kg
Serie 3	6		kg

Triceps- press

Dag 1			
	Reps	Reps klart	Motstand
Serie 1	10		kg
Serie 2	10		kg
Serie 3	10		kg

Dag 2			
	Reps	Reps klart	Motstand
Serie 1	6		kg
Serie 2	6		kg
Serie 3	6		kg

Merknad:
