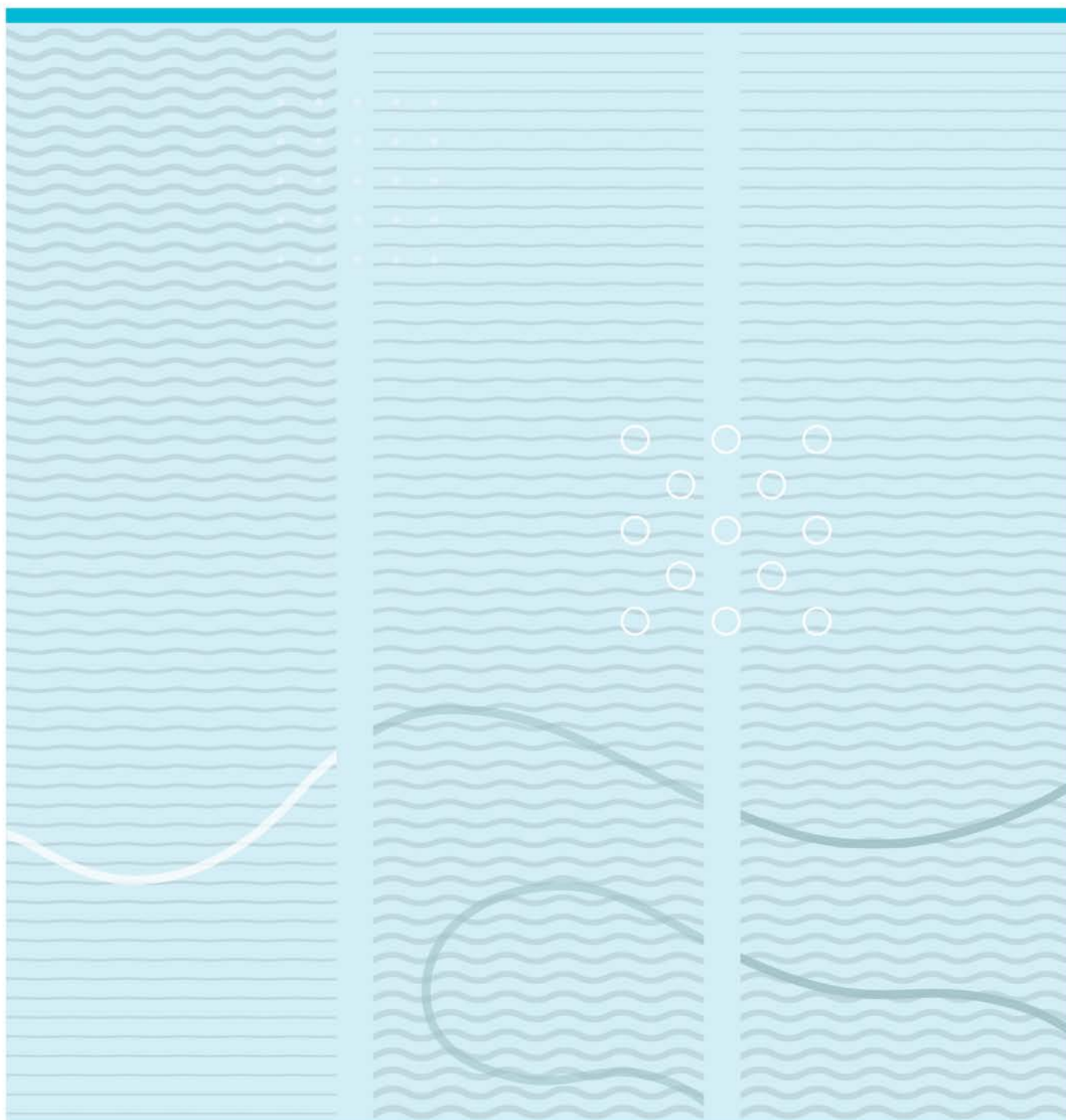


Jan – Michael Johansen

## Fysiologiske prestasjonsbestemmende faktorer i langrenn



Høgskolen i Sørøst-Norge  
Fakultet for allmennvitenskapelige fag  
Institutt for idretts- og friluftslivsfag  
Postboks 235  
3603-Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2016 Jan – Michael Johansen

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

## Sammendrag

**Formål:** Målet for den foreliggende studien var å undersøke potensielle sammenhenger mellom fysiologiske og antropometriske variabler, og en kontrollert prestasjonstest på rulleski blant en gruppe aktive juniorlangrennsløpere. **Metode:** 32 mannlige og kvinnelige juniorutøvere, som alle konkurrerte aktivt i langrenn, ble inkludert i studien. Alle ble testet i deres forberedelsesperiode til konkurransesesongen. Kroppsvekt og kroppshøyde ble målt, og body mass index (BMI) beregnet. De ble også testet i maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2maks}$ ), squat jump (SJ), counter-movement jump (CMJ), counter-movement jump med armsving (CMJas), ettbeinshopp, 1 repetisjon maximum (1RM) i knebøy og nedtrekk og maksimal power i knebøy. I tillegg gjennomførte alle utøverne en 5.64 km lang prestasjonstest på rulleski, i en asfaltert rulleskiløype. For å undersøke eventuelle sammenhenger mellom fysiologiske variabler og prestasjon i testløpet, ble regresjons- og korrelasjonsanalyser gjennomført. Pearson bivariate 2-tailed korrelasjonstester og single regression analyser ble brukt for å finne korrelasjonskoeffisienten ( $r$ ) og standard error of estimate ( $SEE$ ). **Resultat:** Den enkeltvariabelen som korrelerte best med prestasjon i langrenn var 1RM nedtrekk (kg/kroppsvekt) ( $r = -0.78$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 5.5\%$ ).  $VO_{2maks}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) og SJ viste også en sterk sammenheng med prestasjonen i langrenn (henholdsvis  $r = -0.74$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 6.77\%$  og  $r = -0.62$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 7.08\%$ ). En prestasjonsformel som representerte både  $VO_{2maks}$ , maksimal styrke i overkropp, spesifikk spenst og balanse og tyngdeoverføring ( $Prestasjon (s) = VO_{2maks} (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) \cdot 1RM \text{ nedtrekk (kg/kroppsvekt)} \cdot \text{ettbeinshopp (snitthøyde i cm)}$ ), viste den sterkeste korrelasjonen til langrennsprestasjon ( $r = -0.82$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 5.1\%$ ) i den foreliggende studien. **Konklusjon:** På bakgrunn av studiens resultater viser det seg at  $VO_{2maks}$ , maksimal styrke i overkroppsmuskulatur (stakemuskulatur) og SJ var mest avgjørende for prestasjonen i langrenn i den foreliggende studien. Samtidig savner den foreliggende studien evaluering av arbeidsøkonomis betydning for langrennsprestasjonen. På den måten kan det ikke konkluderes med at bare de tre nevnte variablene er de viktigste faktorene for langrennsprestasjonen. Selv om den foreliggende studien har kommet med interessante funn, trengs det likevel mer forskning på hva som bestemmer prestasjon i langrenn.

## Forord

Det var midt på natten, i midten av mars. Året var 1998. Noe skulle skje på andre siden av jordkloden den natten. På tv-skjermen hadde sendingen fra OL i Nagano allerede begynt. Den norske helten Bjørn Dæhlie skulle starte som nummer tre på «nattens» 50 km skøyting. Det var tunge forhold. Forhold som favoriserte Dæhlie og hans stålvilje. Femmila utviklet seg til en skikkelig nervepirrende opplevelse. Dæhlie måtte ned i den mørkeste krypkjelleren for å vinne gullet, bare noen få sekunder foran svenske Niklas Jonsson. Bildene av en utslitt langrennskonge brant seg inn i mitt unge idrettshjerte. Dette var nok den første opplevelsen jeg hadde med langrennssporten, og jeg husker den godt. Dette øyeblikket startet en interesse for langrenn som har blitt bevart gjennom snart 18 år. Øyeblikket var også indirekte avgjørende for at jeg de to siste årene har gjennomført et forskningsprosjekt, og skrevet en masteravhandling, innenfor denne idretten. Et forskningsprosjekt som jeg håper kan hjelpe til med å forstå flere aspekter ved langrennssporten i større grad.

Arbeidet med denne masteravhandlingen har opptatt mye av min tid de siste to årene. Det har vært utfordrende, men også veldig lærerikt. Selv om jeg har skrevet og arbeidet mye med dette prosjektet, er det også flere bidragsytere som har bidratt til at denne oppgaven har blitt bedre. Først vil jeg takke min kjære kone og familie for all støtte og oppmuntring gjennom disse to årene. Takk for at dere hjalp meg med korrekturlesing og generelle tips, som har gjort min oppgave bedre. Takk til alle lærere og forelesere som har skapt, og vedlikeholdt, en stor entusiasme for idrettsfaget. Videre vil jeg takke dere som var med og hjalp til under all testingen av utøverne. Det var verdifull hjelp, som jeg setter stor pris på. Samtidig vil jeg takke alle utøverne som deltok i studien, og at jeg fikk lov til å teste dere i alle mulige slags parametere. Takk for god innsats, og mange spennende testresultater.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke mine to veiledere. Øyvind Støren og Arnstein Sunde, takk for at dere har hjulpet meg under hele prosessen med deres kunnskaper og erfaringer. Takk for gode og interessante samtaler underveis. Dere har gitt meg god veiledning, og hjulpet meg i utarbeidingen og gjennomføringen av hele prosjektet. Uten dere to ville dette prosjektet vært mye vanskeligere, hvis ikke umulig, å gjennomføre. Tusen takk til dere begge!

Bø, 26.05.2016

Jan – Michael Johansen

## Innholdsfortegnelse

1.0 Teori .....	7
Langrennssporten .....	7
Hva bestemmer utholdenhetsprestasjonen? .....	9
Prestasjonsbestemmende fysiologiske faktorer i langrenn .....	11
$VO_{2\text{ maks}}$ .....	11
Utnyttingsgrad og laktatterskel .....	15
Arbeidsøkonomi .....	16
Maksimal og eksplosiv styrke og spenst .....	18
Antropometri .....	24
Problemstilling .....	26
2.0 Metode .....	27
Metodisk tilnærming .....	27
Forsøkspersoner .....	27
Testprosedyrer og testutstyr .....	29
Antropometriske data .....	29
$VO_{2\text{ maks}}$ .....	29
Spenstvariabler .....	31
Maksimal styrke og power .....	33
Testløp rulleski, fristil (5,64 km) .....	34
Allometrisk skalering .....	35
Statistiske analyser .....	35
3.0 Resultater .....	36
4.0 Diskusjon .....	40
Relasjonen mellom $VO_{2\text{ maks}}$ og prestasjon .....	40
Relasjonen mellom maksimal styrke og prestasjon .....	43
Relasjonen mellom spenstvariabler og prestasjon .....	46
Er betydningen av styrke- og spenstvariablene kun et uttrykk for naturlige kjønnsforskjeller? .....	49

Relasjonen mellom antropometriske variabler og prestasjon .....	50
Prestasjonsformelen og prestasjon .....	52
Metodiske betraktninger.....	53
Praktiske implikasjoner .....	56
Veien videre .....	57
Konklusjon .....	58
Litteratur .....	59
Vedlegg 1: Informasjonsskriv om studien. ....	69
Vedlegg 2: Egenerklæringsskjema.....	71

## 1.0 Teori

### Langrennssporten

Langrenn har tradisjonelt blitt karakterisert som en aerob utholdenhetsidrett. Dette er først og fremst på grunn av konkurransenes varighet, fra ca. 10 (5 km) til ca. 120 minutter (50 km) i distanselangrenn (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Gjerset et al. (2006) definerer aerob utholdenhet slik: «*Aerob utholdenhet står for organismens evne til å arbeide med relativt høy intensitet over lengre tid (Gjerset et al., 2006, s. 48)*». Det er vist en 50/50 prosentvis fordeling mellom aerobt og anaerobt energibidrag under maksimalt arbeid, med en varighet på bare 1 minutt (Medbø & Tabata, 1989). Dette viser at det aerobe energibidraget er viktig i langrenn, siden varigheten er over 1 minutt i alle langrennskurranser. Aerob energiomsetning bidrar med 80 – 99 % av energibidraget i distanselangrenn (Gastin, 2001; Rusko, 2003; Åstrand et al., 2003; McArdle et al., 2010). Selv ved kortere sprintkonkurranser (2 – 3 min) bidrar den aerobe energiomsetningen med over 70 % av energibidraget (Losnegaard et al., 2012), og viser seg å bli viktigere og viktigere etter flere heat (Vesterinen et al., 2009; Mikkola et al., 2010)

Prestasjon i langrenn, og andre utholdenhetsidretter, påvirkes ikke bare av den aerobe kapasiteten. Faktorer som styrke, teknikk og anaerob utholdenhet, kan være med å skille utøvernes prestasjoner, som diskutert i Joyner & Coyle (2008). Langrennssporten har også utviklet seg mye i de siste tiårene, og utvikler seg stadig videre. Dette har gjort at arbeidskravene har blitt mer komplekse, og spesifikke. Forandringer som overgang fra treski til glassfiberski, og at fristilsteknikken ble innført, har gjort at konkurransehastigheten har økt. Samtidig har stadige forbedringer i preparering av løyper, og nyere og bedre utstyr, bidratt til denne utviklingen (Hoffman & Clifford, 1992; Sandbakk & Holmberg, 2014). Utviklingen har også endret på øvelsesprogrammet i langrenn. Av de 12 øvelsene som ble gjennomført i OL i Sochi 2014, var 8 øvelser enten ikke på programmet, eller blitt signifikant forandret siden OL på Lillehammer i 1994 (Sandbakk & Holmberg, 2014). Innføringen av sprint og fellesstart gjorde at det ble flere hurtige rykk og spurtoppgjør i konkurransene. Disse endringene satte nye og høyere krav til teknikk, hurtighet, styrke, spenst og anaerob utholdenhet (Rusko, 2003; Stöggl et al., 2006; 2011; 2015; Andersson et al., 2010; Losnegaard et al., 2011; 2012) Samtidig satte sprint og fellesstart større krav til utøverens taktiske vurderinger underveis i løpet, blant annet å ligge bak i feltet og spare krefter til et

rykk eller en spurt, eller prøve å slite ut de andre ved å gå jevnt hardt over lang tid (Sandbakk & Tønnesen, 2012; Sandbakk & Holmberg, 2014).

I en langrennskonkurranse varierer terrenget i stor grad. En langrennskonkurranse skal inneholde omtrent en tredjedel flatt terreng, en tredjedel motbakker og en tredjedel nedoverbakker (Sandbakk & Holmberg, 2014). Dette gir langrennsløpere en mulighet til å arbeide mer intensivt, og ha et større anaerobt bidrag i oppoverbakkene, siden de kan hente seg inn igjen i nedoverbakkene. På denne måten kan dette bidra til at anaerob utholdenhet kan spille en rolle for langrennsprestasjon, også i distanselangrenn (Rusko, 2003). Samtidig påvirker variasjonen i terrenget utøvernes evne til å alternere mellom ulike teknikktyper (Sandbakk & Holmberg, 2014). Forskjellige teknikker brukes i oppoverbakker, på flate partier og i nedoverbakker, og er dermed hastighetsavhengige. De forskjellige teknikkene varierer mellom i hvor stor grad over- eller underkropp er involvert, men i de fleste teknikkene brukes hele kroppen. Hovedskillet i langrennsteknikken går mellom klassisk og fristil. Innenfor disse teknikkene finnes det også flere underteknikker. Dette gjør at en langrennsutøver må beherske mange forskjellige teknikker for å prestere på høyt nivå (Sandbakk & Tønnesen, 2012). I en studie av Andersson et al. (2010) ble det rapportert at svenske mannlige eliteløpere skiftet teknikk 21 – 34 ganger i løpet av en 1.43 km lang langrennssprint i fristil. Dette var bare på en kort sprint, men antallet teknikkskifter vil kunne være mye høyere på en 15 km, 30 km eller 50 km. Samtidig viste Andersson et al. (2010) at de partiene i løypa hvor det var naturlig å skifte teknikk, var et av de stedene hvor utøverne enten tapte eller vant sekunder på de andre. Dette viser at en langrennsløper må beherske flere teknikker, men også kunne skifte mellom dem uten å tape hastighet (Andersson et al., 2010).

De fleste suksessrike langrennsløperne trener omtrent på samme måte. Flere norske verdensmestere har trent etter den samme modellen, i form av mest aerob utholdenhetstrening. Siden langrenn er karakterisert som en aerob utholdenhetsidrett, og aerob utholdenhet er sett på som den viktigste faktoren for langrennsprestasjon, legges det størst vekt på dette i treningsarbeidet. Derimot er det stor prosentvis forskjell mellom trening som foregår med lav og høy intensitet. Mellom 80 – 85 % av det totale treningsvolumet til seniorlangrennsløpere består av utholdenhetstrening på lav intensitet (I1 og I2). Dette gjøres av flere grunner, men først og fremst for å optimalisere teknikk og forbedre arbeidsøkonomi (Sandbakk & Tønnesen, 2012). Ifølge Scrimgeour et al. (1986) hadde maratonløpere som løp flere kilometer i uken (> 100 km i uken) enn løpere som løp mindre (< 100 km i uken), bedre arbeidsøkonomi. Denne forskjellen kan forklares ved at de som løp mest fikk flere



repetisjoner i den aktuelle bevegelsesformen, og at dette igjen forbedrer arbeidsøkonomien (Scrimgeour et al., 1986). Samtidig er det viktig at teknikken som brukes under trening på lavere intensitet er lik konkurranseteknikken, samt at teknikken blir forbedret i konkurransefart. Trening på I1 kan fort bli for rolig til å bruke konkurranselik teknikk, slik at arbeidsøkonomien i konkurranse ikke forbedres nevneverdig. Derfor inkluderes også mengdetrening på I3 for å optimalisere teknikk, og forbedre arbeidsøkonomi. Siden hastigheten er litt høyere under trening på I3, vil også teknikken være mer lik teknikk brukt i konkurranse, og dette kan påvirke arbeidsøkonomien i positiv retning (Rusko, 2003). Derfor kan utholdenhetstrening med lavere intensitet (I1, I2 og I3), siden disse treningsøktene kan vare opptil flere timer, forbedre arbeidsøkonomien (Sandbakk & Tønnessen, 2012).

Omtrent 10 % av det totale treningsvolumet til seniorlangrennsløpere består av utholdenhetstrening på høy intensitet (I3, I4 og I5) (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Dette er først og fremst fordi aerob utholdenhetstrening ved høy intensitet har vist seg å forbedre  $VO_{2maks}$  i størst grad (Helgerud et al., 2007). For både mannlige- og kvinnelige langrennsløpere i senioralder brukes omtrent 5 % av treningstiden til styrke-, spenst- og hurtighetstrening (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Denne treningsformen brukes for å øke kraftutvikling i hvert stavgang og skyv (Rusko, 2003; Sandbakk & Tønnessen, 2012), men også fordi maksimal og eksplosiv styrketrening har vist seg å forbedre utholdenhetsprestasjon, ved å forbedre arbeidsøkonomien (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010). De samme treningsmønstrene er også observert blant juniorlangrennsløpere (Rusko, 2003; Seiler & Kjerland, 2006).

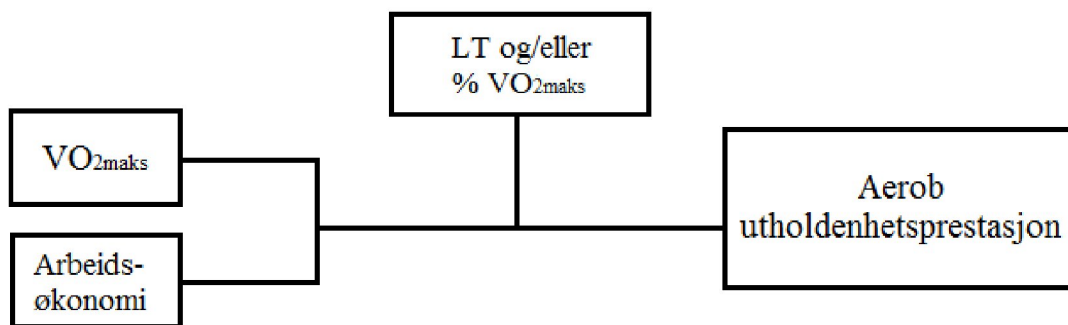
## **Hva bestemmer utholdenhetsprestasjonen?**

Ifølge Pate og Kriska (1984) er det tre hovedvariabler som bestemmer en aerob utholdenhetsprestasjon. Disse tre variablene er 1) maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2maks}$ ), 2) arbeidsøkonomi og 3) laktattærskel (LT). Blant disse trekkes det frem at  $VO_{2maks}$  er den variabelen alene som bestemmer prestasjon i størst grad. Denne tredelingen støttes også av di Prampero (2003), riktignok hvor LT er byttet ut med utnyttingsgrad, og Bassett og Howley (2000), hvor både LT og utnyttingsgrad er inkludert.

Viktigheten av disse variablene blir bekreftet i Støren et al. (2013), hvor prestasjonsbestemmende faktorer i tempo sykling ble undersøkt. Her kunne 86 % av prestasjonen forklares av følgende prestasjonsformel:

$$TT(w) = 0.95 ([VO_{2maks}/C_c] TT\%VO_{2maks}) + 0.05 (\text{Wingate average}).$$

Denne formelen viser gjennomsnittswatt (TT(w)) under en prestasjonstest (TT) i et laboratorium (Støren et al., 2013). Konkurransen (test) – tiden fordrer en energiomsetning som er 95 % aerob og 5 % av anaerob. Den aerobe utholdenheten er representert ved  $VO_{2maks}$ , delt på  $C_c$  ved submaksimal sykling, hvor  $C_c$  står for cost of cycling, altså oksygenkostnaden pr. watt. Dette ganges med utnyttingsgraden under testen ( $TT\%VO_{2maks}$ ). Den anaerobe utholdenheten ble representert ved gjennomsnittswatt i en 30 sekunders all-out Wingate-test (Wingate average). Den samme studien viste imidlertid at å dele  $VO_{2maks}$  på  $C_c$ , gav nesten identisk resultat ( $r = 0.92, p = 0,01$ ) (Støren et al., 2013), noe som også støttes i Støren et al. (2011). Dette viser at den aerobe utholdenheten spiller en helt avgjørende rolle, og at  $VO_{2maks}$  og arbeidsøkonomi er de to viktigste faktorene for prestasjon i utholdenhetsidretter, som tempo sykling. Den anaerobe kapasiteten spiller en mindre rolle i utholdenhetsidretter med tilsvarende varighet (ca. 30 minutter) (Støren et al., 2013). Studiene av Pate og Kriska (1984), Bassett og Howley (2000), di Prampero (2003) og Støren et al. (2013) kan oppsummeres i figur 1.



**Figur 1:** Fremstilling av bestemmende faktorer for utholdenhetsprestasjon (Fritt etter Bassett & Howley, 2000).

## Prestasjonsbestemmende fysiologiske faktorer i langrenn

### VO<sub>2 maks</sub>

Langrenn er først og fremst en aerob utholdenhetsidrett, med tanke på varigheten og intensiteten (Hoffman & Clifford, 1992). Derfor er det ikke overraskende at langrennsløpere ofte har målt noen av de høyeste VO<sub>2maks</sub> – verdiene i verden, med verdier mellom 80 og 90 ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> for menn, og mellom 70 og 80 ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> for kvinner (Saltin & Åstrand, 1967; Ingjer, 1991; Ingjer, 1992; Rusko, 2003; Holmberg et al., 2007; Tønnessen et al., 2015).

Flere studier har undersøkt, og funnet en signifikant sammenheng mellom VO<sub>2maks</sub> og prestasjon i langrenn, både på distanse og sprint (Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Ingjer, 1991; Mygind et al., 1991; Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Mahood et al., 2001; Larsson et al., 2002; Vesterinen et al., 2009; Alsobrook & Heil, 2009; Mikkola et al. 2010; Sandbakk et al., 2011a; 2011b; Losnegaard et al., 2012; 2013). Ingjer (1991) fant en sterk sammenheng mellom VO<sub>2maks</sub>, uttrykt både i L · min<sup>-1</sup>, ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>, og prestasjonsnivå. VO<sub>2maks</sub> – verdiene viste seg å skille suksessfulle langrennsløpere signifikant fra mindre suksessfulle løpere (Ingjer, 1991). Ingjer (1991) viste imidlertid at ml · kg<sup>-0.67</sup> · min<sup>-1</sup> er den beste måten å uttrykke VO<sub>2maks</sub> på, i forhold til å predikere prestasjon hos langrennsløpere. Dette blir også støttet av Bergh (1987) og Bergh & Forsberg (1992). Det er verdt å merke seg at VO<sub>2maks</sub>-testene i studien til Ingjer (1991) ble gjennomført ved løping. Flere studier har også observert signifikant sammenheng mellom VO<sub>2maks</sub> ved løping og langrennsprestasjon (Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Rundell & Bacharach, 1995; Larsson et al., 2002). I studien til Rundell & Bacharach (1995) ble den signifikante sammenhengen bare sett hos kvinnelige utøvere, og ikke hos mannlige. Grunnen til dette kan være en svært homogen mannlig gruppe i forhold til VO<sub>2maks</sub> – verdier i den studien (Rundell & Bacharach, 1995).

De samme observasjonene har også blitt funnet ved spesifikke VO<sub>2maks</sub>-tester på rulleski, både ved fullkroppsarbeid og overkroppsarbeid. Mahood et al. (2001) gjennomførte felttester på rulleski (fristil) av blant annet VO<sub>2maks</sub>, VO<sub>2maks</sub> i staking og en 10 km simulert langrennskonnkurransse. Mahood et al. (2001) viste at både VO<sub>2maks</sub> og VO<sub>2maks</sub> i staking hadde en signifikant sammenheng med prestasjon i 10 km fristil. Disse funnene støttes av flere studier som har brukt spesifikke rulleskitester av VO<sub>2maks</sub>, i forhold til prestasjon på lengre distanser i langrenn og skiskyting (Rundell, 1995; Bilodeau et al., 1995; Wisløff & Helgerud, 1998; Gaskill et al., 1999; Alsobrook & Heil, 2009).

I idretter som er sammenlignbare med langrenn med tanke på konkurransevarighet (10 min – 2 timer), har også  $VO_{2maks}$  vist seg som en svært betydningsfull faktor for prestasjon. Støren et al. (2013) viste at  $VO_{2maks}$  korrelerer signifikant med prestasjon i en 15 km sykkel TT hos konkurransesyklister. I tillegg viste det seg at  $VO_{2maks}$  sammen med arbeidsøkonomi forklarte 84 % av prestasjonen i temposykkel (Støren et al., 2013). Dette støttes av Bentley et al. (2001), som fant en moderat signifikant sammenheng mellom  $VO_{2maks}$  og en 20 minutter lang TT på sykkel. I løping har Støa et al. (2010) vist at  $VO_{2maks}$  korrelerer sterkt med 5 km løpsprestasjon hos eliteløpere.  $VO_{2maks}$  uttrykt som  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  forklarte 75.2 % av prestasjonen i den studien. Disse funnene støttes også av Davies & Thompson (1979), Butts et al. (1991), Paavolainen et al. (2000) og Støren et al. (2008; 2011; 2012). Conley & Krahenbuhl (1980) og Hagberg & Coyle (1983) fant imidlertid ingen signifikant sammenheng mellom  $VO_{2maks}$  og henholdsvis løpsprestasjon eller kappgangsprestasjon. Grunnen kan imidlertid være at utøverne i disse studiene utgjorde en svært homogen gruppe i forhold til  $VO_{2maks}$  – verdier.

### ***Hvorfor er $VO_{2maks}$ av stor betydning for langrennsprestasjonen?***

$VO_{2maks}$  er et direkte mål på hastigheten og størrelsen på den aerobe energiomsetningen (Bassett & Howley, 2000). Dermed gir  $VO_{2maks}$  et mål på hvor mye energi (ATP) utøveren kan produsere aerobt pr. minutt maksimalt. Den aerobe energiomsetningen har kapasitet til å danne mer ATP, i sum, gjennom et langvarig arbeid enn anaerob energiomsetning. Den aerobe energiomsetningen skjer i mitokondriene i muskelcellene i de arbeidende musklene (McArdle et al., 2010). Det betyr at de delene av kroppen som frakter oksygen ( $O_2$ ) til muskelcellene (supply), og de delene som tar opp og forbruker  $O_2$  (demand) i cellene er med på å begrense  $VO_{2maks}$ .  $VO_{2maks}$  er produktet av minuttvolum og den arterio-venøse  $O_2$  differansen (A- $VO_2$  differansen), hvor minuttvolum representerer supply, og A- $VO_2$  differansen representerer demand (Wagner, 2000). Fra et glukosemolekyl kan den anaerobe energiomsetningen, gjennom glykolysen, danne netto 2 ATP molekyler. Den aerobe energiomsetningen kan danne netto 32 ATP-molekyler fra et glukosemolekyl, altså 16 ganger så stor kapasitet til å skape energi enn anaerob energiomsetningen (McArdle et al., 2010). En langrennsløper er avhengig av å frigjøre mye energi, i form av ATP, siden musklene er avhengige av ATP for å kontrahere og gjenta kontraksjoner, og på den måten skape fremdrift. En utholdenhetskonkurranse, som langrenn, består av flere tusen muskelkontraksjoner. Derfor

er energikravet for å skape og gjenta disse kontraksjonene, og derfor O<sub>2</sub>-kravet, svært høyt i langrenn (Rusko, 2003).

### Supply

Det er tilgangen på O<sub>2</sub> til arbeidende skjelettmuskulatur (supply), som i stor grad bestemmer hvor mye ATP som kan produseres gjennom aerob energiomsetning ved helkroppsarbeid (Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003). Når intensiteten økes vil kroppens behov for O<sub>2</sub> øke, og hjertefrekvens og slagvolum øker for å transportere O<sub>2</sub> raskere ut til arbeidende skjelettmuskler. Samtidig øker karbondioksidproduksjonen (CO<sub>2</sub>), og ventilasjonen øker derfor både for å skaffe mer O<sub>2</sub> til veie fra lunger til blod, og for å kunne ekspirere ut økte mengder CO<sub>2</sub>. Ved intensitet som representerer VO<sub>2maks</sub>, blir en person utmattet etter 4 – 15 minutter (Åstrand et al., 2003; Støa et al., 2010).

Hvor mye O<sub>2</sub> som fraktes og tilbys til de arbeidende muskelcellene bestemmes hovedsakelig av hjertets minuttvolum. Hjertets minuttvolum er hvor mye blod hjertet klarer å pumpe ut til kroppen i løpet av ett minutt (Bassett & Howley, 2000). Dette kan påvirkes i stor grad ved trening (di Prampero, 2003; Helgerud et al., 2007). Hos langrennsløpere har man observert utøvere med et maksimalt minuttvolum på  $\geq 40$  L/min (Ekblom & Hermansen, 1968), og er mye høyere enn hos utrente personer (25 L/min) (McArdle et al., 2010). Minuttvolumet er et produkt av hjertefrekvens (HF) og slagvolum (SV), hvor SV står for hvor mye blod hjertet pumper pr. slag (McArdle et al., 2010). Blant disse faktorene er det først og fremst SV som har vist seg å være påvirkelig gjennom trening. Helgerud et al. (2007) viste at aerob høyintensiv intervalltrening økte VO<sub>2maks</sub> med 7.2 %, hovedsakelig som en følge av en ca. 9 % økning i SV.

Hjertet pumper O<sub>2</sub>-fattig blod ut til lungekapillærene, hvor blodet får tilført nytt O<sub>2</sub> ved hjelp av forskjeller i O<sub>2</sub>-trykk (PO<sub>2</sub>) mellom blodet og luften i lungealveolene. Dette fører til at O<sub>2</sub> vil føres fra lungene, og over i blodet. O<sub>2</sub>-bærerne i blodet er hemoglobin (Hb), et jernholdig molekyl, som maksimalt kan feste fire O<sub>2</sub>-molekyler til seg. Hb-mengden i blodet varierer fra individ til individ, men ligger på rundt 15 g Hb/dl blod hos menn, og rundt 14 g Hb/dl blod hos kvinner. Denne forskjellen forklares hovedsakelig på grunn av menns større produksjon av testosteron (McArdle et al., 2010). I hvor stor grad Hb mettes med O<sub>2</sub>, kalles for blodets O<sub>2</sub>-metning (SaO<sub>2</sub>). Hos friske personer på havnivå er SaO<sub>2</sub> på 95 – 98 %, selv ved maksimalt arbeid. Hos godt trente utholdenhetsutøvere har det vært observert redusert SaO<sub>2</sub> under maksimalt arbeid. Dette kan forklares ved at det maksimale minuttvolumet er så høyt at

transittiden blir redusert. Konsekvensene av dette er at det ikke blir nok tid til å mette blodet med O<sub>2</sub>, før blodet forlater lungekapillærene igjen på vei tilbake til hjertet. Samtidig klarer godt trente utholdenhetsutøvere å frakte mer O<sub>2</sub> enn normale individer, siden blodmengden pr. minutt er mye større (Dempsey & Wagner, 1999; Bassett & Howley, 2000). Hb-mengden i blodet, evnen til å mette Hb med O<sub>2</sub> og minuttvolumet bestemmer hvor mye O<sub>2</sub> hjertet klarer å forsyne arbeidende muskler med (McArdle et al., 2010). Ifølge di Prampero (2003) utgjør faktorene minuttvolum og Hb-konsentrasjonen den største begrensningen for VO<sub>2maks</sub>, og forklarer 70 til 75 % av VO<sub>2maks</sub>, og en 10 % forbedring av disse faktorene vil derfor føre til en 7 % økning i VO<sub>2maks</sub> (di Prampero, 2003).

Kapillærtettheten er også en viktig faktor for leveransen av O<sub>2</sub> til muskelcellene, og har vist å kunne økes ved trening (Andersen & Henriksson, 1977; Dubé et al., 2008). Det er funnet omtrent 40 % høyere kapillærtetthet hos utholdenhetsutøvere i forhold til utrente (McArdle et al., 2010). Den forhøyede kapillærtettheten gjør det først og fremst mulig å opprettholde transittiden for diffusjonen mellom blod og muskelcellene, selv ved et høyere minuttvolum (Bassett & Howley, 2000; McArdle et al., 2010).

### Demand

Ved siden av minuttvolum, bestemmes også VO<sub>2maks</sub> av A-VO<sub>2</sub> differansen. A-VO<sub>2</sub> differansen forteller om forskjellen mellom O<sub>2</sub>-innhold i arterielt blod og venøst blod. Dette kan gi en indikasjon på hvor mye O<sub>2</sub> som er tatt opp, og forbrukt, i muskelcellene. Ved økende intensitet slipper blodet fra seg mer O<sub>2</sub> til musklene, fordi PO<sub>2</sub> i muskelcellene er lavere enn ved hvile, fordi O<sub>2</sub> forbrukes i den aerobe energiomsetningen. Det vil si at desto høyere aerob energiomsetning i muskelcellene, desto høyere blir A-VO<sub>2</sub> differansen. Siden PO<sub>2</sub> i blodet er høyere enn i cellen, vil disse trykkforskjellene drive O<sub>2</sub> over i muskelcellene (Honig et al., 1992; Bassett & Howley, 2000).

Forbruket av O<sub>2</sub> vil også påvirkes av størrelsen og mengden av mitokondrier, og antall aerobe enzymer. Flere mitokondrier gir flere stasjoner hvor aerob ATP kan produseres, men likevel ser det ut til at en økning i mitokondrier og aerobe enzymer ikke resulterer i samme økning av VO<sub>2maks</sub> (Bassett & Howley, 2000). Den spesifikke oppgaven til O<sub>2</sub> er å sørge for evnen til aerob energiomsetning i muskelcellen. Rent konkret så kommer O<sub>2</sub> inn i etterkant av elektrontransportkjeden og plukker opp hydrogenioner, og på den måten danner vann. Dette har så en feedbackmekanisme som, etter glykolyzen, avgjør om glykogenet kun brytes ned anaerobt, eller fortsetter å bryte ned enda mer energi via aerobe prosesser. Er det tilstrekkelig

med O<sub>2</sub> tilgjengelig i muskelcellen, vil glykogenet brytes ned aerobt, og unngår på den måten å produsere for mye laktat. Hvis O<sub>2</sub>-tilførselen er for liten i forhold til etterspørselen, vil glykogenet begynne å brytes ned anaerobt, hvor det dannes mer laktat (McArdle et al., 2010).

Type I muskelfibre har en bedre evne til aerob energiomsetning, enn type II muskelfibre, og er derfor fordelaktig for utholdenhetsprestasjoner. Evertsen et al. (1999) viste at det var en større andel aerobe enzymer i type I fibre, og til en viss grad også type IIa fibre, enn i type IIx fibre. Aktiviteten til disse enzymene viste også en signifikant korrelasjon med VO<sub>2maks</sub> og prestasjon i langrenn (Evertsen et al., 1999). Ifølge di Prampero (2003) utgjør blant annet antall mitokondrier, antall aerobe enzymer og muskelfibertype 25 – 30 % av det som begrenser VO<sub>2maks</sub>, og at en forbedring på 10 % derfor kan lede til en forbedring av VO<sub>2maks</sub> på ca. 3 %. Det er også vist at utholdenhetsrente individer har større kapillærtetthet, høyere oksidativ kapasitet i type I og II muskelfibre, flere aerobe enzymer og flere mitokondrier enn utrente individer (Zoladz et al., 2005; Booth et al., 2015; Lundby & Jacobs, 2016).

Når store og flere muskelgrupper er involvert i bevegelsene, som i langrenn, løping og svømming, altså i helkroppsarbeid, vil begrensningen være hvor mye blod som kommer til de arbeidende musklene, altså supply. Dette er fordi det blir stor konkurranse om det O<sub>2</sub>-rike blodet (Bassett & Howley, 2000). Helgerud et al. (2007) viste at en ca. 9 % forbedring av SV, også økte VO<sub>2maks</sub> med 7,2 %, og viser at blodforsyningen til musklene kan være den begrensende faktoren. Faktorene ute i cellene, altså demand, ser ut til å ha en overkapasitet i forhold til å forbruke mengden O<sub>2</sub> som blir tilbudt av blodet. Først når isolerte muskler og få muskelgrupper utfører et arbeid, kan disse mekanismene bli begrensende, siden det under slike situasjoner blir tilbudt nok O<sub>2</sub> fra blodet (Bassett & Howley, 2000; McArdle et al., 2010).

## Utnyttingsgrad og laktatterskel

Utnyttingsgraden er den prosentvise andelen en utøver klarer å utnytte av sin VO<sub>2maks</sub> under en konkurranse. LT står for den høyeste prosent av VO<sub>2maks</sub>, hvor produksjon og eliminasjon av laktat er lik (McArdle et al., 2010). Det har blitt rapportert at eliteutøvere har høyere LT enn moderat trente og utrente personer, uttrykt i % av VO<sub>2maks</sub> (Åstrand et al., 2003; Joyner & Coyle, 2008). Flere studier viser at godt trente personer har en LT på omtrent 75 – 85 % av VO<sub>2maks</sub>, men at denne er lite påvirkelig ved trening (Helgerud et al., 2007; Støren et al., 2008; 2012; 2014; Sunde et al., 2010). Hastighet på LT har vist en større respons på trening, men

har blitt rapportert til å være bestemt av  $VO_{2maks}$  og arbeidsøkonomi (Helgerud et al., 2007; Støren et al., 2014). På dette grunnlaget ser vi at LT i % av  $VO_{2maks}$  ligner mye på utnyttingsgrad. Utnyttingsgraden har blitt rapportert og være nært knyttet til LT, uttrykt som % $VO_{2maks}$ , over lengre distanser, og det virker som at utnyttingsgraden blir viktigere desto lenger varighet på konkurransen (Davies & Thompson, 1979; Støa et al., 2010). Samtidig har det vært observert at LT og utnyttingsgraden kan skille utholdenhetsutøvere med lik  $VO_{2maks}$  (Hagberg & Coyle, 1983; Coyle et al., 1988). Støa et al. (2010) konkluderte imidlertid med at utnyttingsgraden spiller en liten eller ingen rolle når konkurransetiden er under 20 minutter.

## Arbeidsøkonomi

I Figur 1 blir arbeidsøkonomi fremstilt som en avgjørende faktor for en aerob utholdenhetsprestasjon, ved siden av  $VO_{2maks}$  (Bassett & Howley, 2000). Dette vises også i formelen som ble brukt i Støren et al. (2013), hvor en ren aerob utgave ( $VO_{2maks}/C_c$ ), korrelerte svært godt med tidsprestasjon på en 15 km TT på ergometersykkel ( $r = -0.92$ ). Arbeidsøkonomi kan defineres som  $O_2$ -kostnaden pr. arbeid eller forflytning (Bassett & Howley, 2000; Støren, 2009). Dette bør testes spesifikt, siden  $O_2$ -kostnaden pr. arbeid eller forflytning kan være forskjellig, blant annet i løp, sykling og langrenn (Bahr et al., 1991). Med en god arbeidsøkonomi har utøveren et lite forbruk av  $O_2$  på submaksimale arbeidsbelastninger. Det vil si at mindre energi trengs for å bevege seg en gitt distanse. Dette fører derfor til at gjennomsnittshastigheten over en gitt distanse, kan økes uten at kravene til energiomsetning øker (McArdle et al., 2010). Conley & Krahenbuhl (1980) observerte at arbeidsøkonomi forklarte 65.4 % av variasjonen i 10 km løpsprestasjon hos mannlige eliteløpere, med tilnærmet lik  $VO_{2maks}$ . Dette viser at arbeidsøkonomi har avgjørende betydning for prestasjon, og kan forklare hvorfor utøvere med samme  $VO_{2maks}$  presterer ulikt (Saltin et al., 1995; Foster & Lucia, 2007). I studier av Hoff et al. (1999) og Østerås et al. (2002) ble forbedringer i stakprestasjon, målt som tid til utmattelse, og maksimal styrke, relatert til forbedringer i arbeidsøkonomi i staking. Disse observasjonene er også funnet i både løping og sykling (Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010).

Arbeidsøkonomi kan bestemmes av flere faktorer. En av disse er muskulær effektivitet, som viser hvor effektivt nerve-muskelsystemet er til å gjennomføre kontraksjoner. Dette er undersøkt, og vist å ha en sammenheng med arbeidsøkonomi, i flere studier i forhold til rate



of force development (RFD) (Hoff et al., 1999; Østerås et al., 2002), power (Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010) og muskelfibertypesammensetning (Coyle et al., 1992).

I tillegg bestemmes arbeidsøkonomien av teknikk. I langrenn vil god teknikk handle om å ha høyest mulig hastighet med minst mulig ytre- og indre arbeid (Rusko, 2003). Hvor store bremsekrefter som settes inn er en viktig faktor i løp, og kan også være det for stavsett i langrenn (Chang & Kram, 1999; Kyröläinen et al., 2001; Rusko, 2003; Støren et al., 2011). I løping er det funnet at løpeteknikken er svært avgjørende for arbeidsøkonomien.

Kraftkomponenten som virker mot fartsretningen bør være så liten som mulig. Løpere som stemmer og bremses for mye av bevegelsen under løping, forbruker mer O<sub>2</sub> pr. meter, og bruker på den måten mer energi (Chang & Kram, 1999; Kyröläinen et al., 2001; Støren et al., 2011). For å unngå stort ytre- og indre arbeid i fristilsteknikken i langrenn, er det viktig med en god og hensiktsmessig teknikk, hvor mest mulig kraft i skyv og stavgang går i riktig retning (Rusko, 2003).

Balanse og tyngdeoverføring er sentrale grunnprinsipper i all langrennsteknikk, og vesentlige for å få kreftene til å gå riktig vei. Ved god balanse, og ved å klare å stå godt over den skien man skal skyve fra med, vil man produsere mer kraft mot underlaget med mer effektiv retning. Utøverens tyngde vil tjene som «gratis» kraft mot underlaget i langrenn. Ved god tyngdeoverføring vil utøveren klare å nyttiggjøre seg denne gratis kraften, i tillegg til den kraften som settes inn i skyvet. Hvis utøveren ikke har like god tyngdeoverføring vil utøveren være nødt til å skyve fra hardere for å oppnå samme kraft mot underlaget. Dette medfører igjen et større arbeid og forbruk av O<sub>2</sub> for utøveren, som kan resultere i tidligere tretthet. God tyngdeoverføring kan derfor resultere i et kraftigere skyv med mer effektiv retning, og dermed større fremdrift over lengre tid. Dette gir altså, i tillegg til en bedre arbeidsøkonomi, bedre evne til å skape høyere hastighet. Derfor er det viktig for en langrennsløper å klare å flytte tyngden over til den skien som det skal skyves ifra med, slik at mest mulig kraft kan produseres mot underlaget (Rusko, 2003; Sandbakk & Tønnessen, 2012). Dette kan sees i sammenheng med Newtons 3. lov om kraft og motkraft. Når et legeme påfører en kraft på et annet legeme, vil dette legemet svare med samme motkraft (Holand, 2011). Det vil si at desto mer kraft en langrennsløper klarer å produsere mot underlaget, desto større blir kraften som virker tilbake fra underlaget, og desto større kan fremdriften bli. Dette forutsetter selvfølgelig at kreftene settes inn med en slik retning at de påvirker den horisontale bevegelsen, og minst mulig den vertikale bevegelsen (Rusko, 2003).

Bevegelsesyklus og frekvens har også vist seg å være av bestemmende karakter for arbeidsøkonomien (Foss & Hallén, 2005; Hunter & Smith, 2007; Støren, 2009). Hvis en utøver klarer å fullføre bevegelsesyklusen raskere, vil dette forbedre vilkårene for O<sub>2</sub>-tilførsel til musklene. I en bevegelsesyklus vil musklene kontraheres, og derfor klemme av blodårene i muskelen. Dette gjør at O<sub>2</sub> ikke kommer frem til musklene. Når musklene slapper av etter at kontraksjonen er gjennomført, og før en ny bevegelsesyklus skal starte, vil derimot blodet strømme gjennom musklene. Hvis kontraksjonsfasen kan gjennomføres raskere, med samme syklusfrekvens, vil dette øke tiden musklene slapper av, og derfor bedre blodgjennomstrømmingen. For en langrennsløper vil dette bety at mer energi kan produseres aerobt, og kan derfor unngå opphopning av laktat (McArdle et al., 2010). Økt laktatkonsentrasjon har følgelig vist seg å gi dårligere arbeidsøkonomi (Hoff et al., 2016).

I langrenn varierer terrenget i stor grad gjennom en konkurranse, og de forskjellige delteknikkene er mest økonomiske å bruke på forskjellige steder i løypa. Hoffman et al. (1990) viste at staketeknikken var 12 % mer økonomisk å bruke på flatt terreng, enn padling og dobbelttak med fraspark. Kvamme et al. (2005) viste at padling var mer økonomisk i motbakker over 4.5°, mens dobbeldans var mest økonomisk i slakere motbakker. Dette er imidlertid vist å være avhengig av utøverens hastighet og lengden på motbakken (Andersson et al., 2010). Dette viser at en langrennsløpers valg av teknikk i de forskjellige terrengetypene, også kan påvirke hvor arbeidsøkonomisk denne utøveren klarer å gå (Rusko, 2003; Kvamme et al., 2005)

### **Maksimal- og eksplosiv styrke og spenst**

Den maksimale muskelstyrken blir i Raastad et al. (2010) definert som den største mulige kraften en muskel eller muskelgruppe klarer å utvikle. Gjerset et al. (2006) definerer maksimal muskelstyrke som: «den største kraften en muskel eller en muskelgruppe kan utvikle en gang» (Gjerset et al., 2006, s. 92). Det er tydelig fra disse definisjonene at maksimal styrke handler om muskelens evne til maksimal kraftutvikling. Dette måles gjerne i 1RM (Raastad et al., 2010). Den eksplosive muskelstyrken defineres av Raastad et al. (2010) som evnen til å utvikle størst mulig kraft på kortest mulig tid. Dette måles ofte i maksimal power, hvor man løfter/trekker en ytre motstand så fort som mulig. Maksimal power er et produkt av kraft og arbeidsvei, delt på tiden som blir brukt under løftet. Dette uttrykkes gjerne i Nms<sup>-1</sup>, eller watt (W) (Åstrand et al., 2003). Uttrykket spenst kommer inn under begrepet eksplosiv

muskelstyrke, siden spenst knyttes til hvor stor kraft som kan utvikles på kort tid. Dette betegner musklens evne til å utvikle kraft ved høye forkortningshastigheter, og ofte betegner evnen til å akselerere kroppsmasse. Spensten måles gjerne i høyde (cm) (Raastad et al., 2010).

### ***Bestemmende faktorer for maksimal- og eksplosiv styrke og spenst***

Maksimal- og eksplosiv styrke og spenst bestemmes i stor grad av de samme faktorene, og kan illustreres ved at spenst har vist en sterk sammenheng med maksimal styrke i beina (Wisløff et al., 2004; Rønnestad et al., 2008). Vi kan dele de faktorene som bestemmer den maksimale og den eksplosive kraftutviklingen i to hoveddeler. Disse to delene er muskulære faktorer og nevrale faktorer (Sale, 1987; Behm & Sale, 1993; Van Gutssem et al., 1998; Campos et al., 2002; Kraemer & Ratamess, 2004; Raastad et al., 2010; McArdle et al., 2010).

Blant de muskulære faktorene er det tverrsnittsarealet som er viktigst for den maksimale kraftutviklingen. Muskelens tverrsnittsareal måles der muskelen er tykkest, og 90° på muskelfibrenes lengderetning. En større muskel klarer å utvikle større kraft enn en mindre muskel. Dette er først og fremst fordi det finnes flere muskelfibre i parallell i en større muskel. Flere muskelfibre i parallell medfører flere sarkomerer, og dermed flere myosinhoder som kan ta tak, og trekke, i aktinrådene samtidig. En økning i tverrsnittsarealet vil derfor føre til en økning i maksimal kraftutvikling. For spenst og eksplosive bevegelser, vil en økning av muskelens tverrsnittsareal bare til en viss grad være positivt. Økt tverrsnittsareal øker også kroppsvekten, som kan være ugunstig for hurtige forflytninger av kroppsmassen som spenstbevegelser (Raastad et al., 2010). I langrenn kan dette også få negative konsekvenser, siden utøverne skal forflytte sin egen kroppsvekt over en gitt distanse. Hvis kroppsmassen økes, vil også energikravet økes, siden mer vekt skal forflyttes samme distanse. Større muskelmasse og økt kroppsvekt, kan derimot oppveies for ved høyere aerob kapasitet. Den vanlige måten å uttrykke dette på er derfor energi brukt, dividert på kroppsmasse opphøyet i 0.67 (Bergh et al., 1991).

Den andre muskulære faktoren som bestemmer maksimal kraftutvikling og spenst er fibertypesammensetning. Muskelfibrene deles grovt inn i tre hovedtyper, avhengig av deres hastighet og evne til å produsere og spalte ATP, og isoformer av myosin heavy chain (MHC) (McArdle et al., 2010; Raastad et al., 2010). Type I muskelfibre har en høy aerob kapasitet, med større kapillærtetthet og flere mitokondrier, men har evne til lavere

kontraksjonshastigheter siden hastigheten på spaltingen av ATP er relativt lav. Type II muskelfibre deles ofte i to, type IIa og type IIx fibre. Kraftutviklingen er større ved høyere kontraksjonshastigheter i disse fibre enn i type I fibre, hovedsakelig på grunn av hastigheten på spalting av ATP. Derfor er en høyere andel type II fibre fordelaktig under bevegelser hvor mye kraft skal utvikles ved hurtige muskelkontraksjoner, som hopp og fraspark/skyv. Type II fibre er derimot ikke like utholdende som type I fibre, spesielt type IIx er lite utholdende. Type IIa fibre har derimot en høyere aerob kapasitet enn type IIx fibre (Bárány., 1967; McArdle et al., 2010; Raastad et al., 2010). Type I fibre er likevel like sterke som type II fibre ved isometriske kontraksjoner, først når kontraksjonshastigheten økes vil forskjellene mellom fibre gjøre seg gjeldende. Dette vil derfor si at hvis to utøvere har lik maksimal styrke, vil den med størst andel type II fibre utvikle mest kraft ved samme kontraksjonshastighet hvis alt annet er likt (Raastad et al., 2010). Siden langrennsløper har kort tid på å utvikle kraft mot underlaget gjennom ski og staver, vil en høyere andel type II fibre, gjøre at mer kraft kan utvikles på denne tiden. Samtidig er langrennsløper avhengig av et høyt antall type I fibre, siden den aerobe kapasiteten er svært avgjørende for prestasjon i langrenn. Dette viser seg også i studier hvor typiske utholdenhetsutøvere har en høyere andel type I fibre, enn utøvere i styrke og kraftidretter (Gollnick et al., 1972; Costill et al., 1976).

Ved siden av disse to bestemmende faktorene er også muskelarkitektonisk indeks, muskelens utgangslengde og muskelens senefeste på knoklene med på å bestemme den maksimale kraftutviklingen (Raastad et al., 2010).

Blant de nevrale faktorene som er med å bestemme den maksimale- og eksplosive kraftutviklingen er nervesystemets evne til å rekruttere motoriske enheter, som er relevante i den spesifikke bevegelsen (Åstrand et al., 2003). De motoriske enhetene rekrutteres etter en fast rekkefølge ved økende krav til kraftutvikling. Bevegelser som krever liten kraftutvikling rekrutterer først og fremst mindre motoriske enheter, og hovedsakelig enheter bestående av type I muskelfibre. Når kravet til kraftutvikling øker, vil større enheter bli rekruttert, og i større grad enheter bestående av type II fibre (Sale, 1987). Ved eksplosive bevegelser vil derimot alle enheter bli rekruttert samtidig, for å utvikle mest mulig kraft så fort som mulig. Treningspotensialet i forhold til nervesystemets evne til å rekruttere motoriske enheter er derimot mye diskutert. Trenende utøvere ser ut til å klare å rekruttere alle motoriske enheter i en maksimal muskelkontraksjon, i forhold til hva utrente personer klarer. Det ser følgelig ikke ut

til at det er stort forbedringspotensial på denne faktoren når man allerede er trent (Raastad et al., 2010).

Nervesystemets fyringsfrekvens er også en sentral bestemmende faktor for maksimale og eksplosive muskelaksjoner (Sale, 1987), og har vist seg å øke etter en periode med styrketrening (Behm & Sale, 1993; Van Cutsem et al., 1998; Raastad et al., 2010). Fyringsfrekvensen representerer hvor tett aksjonspotensialene kommer etter hverandre i tid (Raastad et al., 2010). En høyere fyringsfrekvens vil frigjøre mer kalsium i muskelfibrenes cytosol fra sarkoplasmatiske retikulum. Kalsium er avgjørende for at en muskelkontraksjon skal finne sted, siden det fester seg til troponin, og åpner et festningspunkt på aktinråden for myosinhodene. Da kan myosinhodene feste seg, og muskelen kan utvikle kraft. Det er funnet at det nærmest er et proporsjonalt forhold mellom kalsiumkonsentrasjon i cytosol og kontraksjonskraft. Når derimot alle bindingsstedene er frigjort på aktinrådene, vil ikke høyere kalsiumkonsentrasjon føre til like stor økning i kraftproduksjon (McArdle et al., 2010).

De andre nevralfaktorene som er med å bestemme maksimal og eksplosiv kraftutvikling er i hvor stor grad nervesystemet får til en selektiv aktivering av motoriske enheter, og koordineringen av disse motoriske enhetene (McArdle et al., 2010; Raastad et al., 2010).

### ***Relasjonen mellom langrennsprestasjon og styrke og spenst***

I langrenn utvikles kraft i hver enkelt muskelkontraksjon. Det er dette som skaper fremdriften som en langrennsløper trenger for å forflytte seg raskest mulig fra start til mål. Evnen til å gjennomføre flere kontraksjoner over tid er avhengig av en god aerob kapasitet.

Langrennsløpere klarer derimot ikke å utvikle kraft som tilsvarer 100 % av 1RM i hver kontraksjon, gjennom en hel konkurranse (Hoffman & Clifford, 1992). Ifølge Bergh (1982) bruker sjeldent langrennsløpere mer enn 10 – 20 % av 1RM i noen kontraksjoner gjennom en konkurranse i klassisk diagonalgang. Likevel kan det debatteres om enkelte konkurransesituasjoner i moderne langrenn krever høyere kraftutvikling enn 20 % av 1RM, blant annet i staking, fristil, sprint, spurt og rykk (Pierce et al., 1987; Østerås et al., 2002). Hvor mye kraft som utøveren klarer å utvikle i hver kontraksjon gjennom en konkurranse bestemmes derfor, i tillegg til aerob kapasitet, av utøverens maksimale styrke i musklene som utfører arbeidet. Dette er fordi man i langdistanseaktiviteter typisk jobber på ca. 10 – 20 % av 1RM i hver bevegelsesyklus i de aktuelle fremdriftsmusklene (Bergh, 1982). Med en høyere

1RM vil man kunne produsere mer kraft ved eksempelvis 10 % av 1RM, og dermed øke hastigheten (Østerås et al., 2002).

Kreftene som skaper fremdrift for en langrennsløper, generes i stor grad gjennom stavene og overkroppsarbeidet (Rusko, 2003). Det er observert høyere kraftutvikling i overkroppsarbeidet i fristil og klassisk staking enn i klassisk diagonalgang (Pierce et al., 1987; Millet et al., 1998). I en staketest til utmattelse fant Østerås et al. (2002) at den gjennomsnittlige kraften gjennom stavene tilsvarte omtrent 20 – 25 % av 1RM. Stakebevegelsen er svært lik i fristilsteknikkene som i klassisk staking. Dette kan forklare hvorfor kravet til overkroppsstyrke er større i fristil, enn i klassisk diagonalgang (Millet et al., 1998). Tidligere forskning har også vist at power output i overkropp (UBP) korrelerer med prestasjon i langrenn, både i langdistanse og sprint (Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Gaskill et al., 1999; Nesser et al., 2004; Alsobrook & Heil, 2009; Carlsson et al., 2013). Dette viser at utøvere som klarer å produsere større UBP, generelt har høyere gjennomsnittlig hastighet under konkurranse, og dermed presterer bedre (Gaskill et al., 1999). Mengden power som kan utvikles bestemmes også i stor grad av muskelens maksimale styrke (Raastad et al., 2010).

En langrennsløper har imidlertid begrenset tid på å overføre kraft gjennom staver og ski mot underlaget. Dette varierer også i forhold til hvilken teknikk som benyttes (Stöggl & Müller, 2009; Stöggl et al., 2011). I studien til Stöggl & Müller (2009) var tiden som utøverne genererte kraft gjennom stavene 0.18 sekunder (s) i dobbeldans (fristil) og 0.21 s i staking ved maksimal hastighet. Stöggl et al. (2011) fant identiske resultater, henholdsvis 0.19 s i dobbeldans, 0.21 s i staking, samt 0.31 s i diagonalgang ved maksimal hastighet. I tillegg undersøkte Stöggl et al. (2011) tiden som ble brukt på å utvikle kraft med musklene i beina. Tiden var signifikant lengre ved skyv i dobbeldans i forhold til frasparket i diagonalgang ved maksimal hastighet, henholdsvis 0.31 s og 0.23 s (Stöggl et al. (2011)). Disse resultatene kan sammenlignes med kontakttid i bevegelser som løp og hopp (Stöggl et al., 2015; Støren et al., 2011). I Stöggl et al. (2015) ble sammenhengen mellom langrennsprestasjon og spenst hos 51 mannlige og kvinnelige langrennsløpere undersøkt. Her viste spenstøvelser som stående lengde og counter-movement jump (CMJ) signifikant sammenheng med prestasjon i langrenn for de mannlige skiløperne, men ikke for de kvinnelige. Stöggl et al. (2011) fant også at squat jump (SJ) hadde en signifikant sammenheng med maksimal hastighet i dobbeldans (fristil) hos 16 mannlige langrennssprintere. Disse sammenhengene ble også sett i diagonalgang, men

ikke i staking. Dette viser at det å utvikle kraft hurtig også kan være viktig for en langrennsløper (Stöggl et al., 2011).

Hickson et al. (1980) observerte at friske personer økte tid til utmattelse på sykkel med 47 % etter en periode med maksimal styrketrening, uten noen spesiell økning i  $VO_{2maks}$  (4 %). Det samme ble også observert i løping. Forskerne hadde ingen god forklaring på hvorfor prestasjonen hadde økt så mye, uten spesielle forandringer i  $VO_{2maks}$ , men spekulerte i at mulige muskulære og nevromuskulære forandringer kunne være en del av årsaken (Hickson et al., 1980). Nyere studier har vist at maksimal- og eksplosiv styrketrening har forbedret arbeidsøkonomien i flere idretter, som løping (Støren et al., 2008), sykling (Sunde et al., 2010), fotball (Hoff & Helgerud, 2004) og langrenn (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002). I studiene av løping, sykling og langrenn ble forbedringer i arbeidsøkonomi direkte relatert til forbedring av prestasjon. I Hoff et al. (2002) og Østerås et al. (2002) var forbedringen av prestasjon, målt som tid til utmattelse, over 50 % etter en periode med maksimal styrketrening. Den reelle økningen som maksimal styrketrening var ansvarlig for, er imidlertid noe lavere, målt som tidsprestasjon over en gitt distanse. Utøverne i kontrollgruppen i Hoff et al. (2002) økte også tid til utmattelse med 25 %. Effekten av den maksimale styrketreningen ble derfor ca. 25 %. Andre studier har derimot ikke funnet noen forbedring av arbeidsøkonomien etter en periode med styrketrening, både i langrenn og sykkel (Aagaard et al., 2011; Losnegaard et al., 2011). Disse studiene har dessuten valgt et litt annet design enn Hoff et al. (2002) og Østerås et al. (2002), med flere repetisjoner og større variasjon gjennom treningsintervensjonen, med tanke på antall repetisjoner.

Det at maksimal styrketrening kan forbedre arbeidsøkonomien, og derfor også utholdenhetsprestasjon, har flere årsaker. En av årsakene er foreslått å være en reduksjon i relativ belastning (Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002). Østerås et al. (2002) observerte en økning i 1RM i stakemusculatur, og redusert relativ belastning i staking under en utmattelsestest, fra 25.9 % til 21.1% av 1RM etter en periode med maksimal styrketrening. Denne reduserte relative belastningen gjør at en langrennsløper kan opprettholde samme hastighet ved en lavere relativ belastning. Dette gjør at utøverne kan forbruke mindre ATP på å opprettholde samme hastighet, som betyr at tiden til utmattelse vil forlenges. Samtidig kan også høyere hastighet produseres ved samme % av 1RM, fordi utøveren produserer mer fremdrift pr. stavtak. Dette er positivt for langrennsprestasjon fordi utøveren kan komme seg raskere fra start til mål, ved like stort forbruk av ATP (Østerås et al., 2002).

Paavolainen et al. (1999), Hoff et al. (1999) og Sunde et al. (2010) foreslår at det ikke er økt 1RM i seg selv, men en forbedret rate of force development (RFD), eller forbedret power, som forbedrer arbeidsøkonomien. En forbedret RFD betyr at det tar kortere tid til utøveren når sin maksimale kraftutvikling (McArdle et al., 2010). Dette kan få positive konsekvenser for en langrensløpers prestasjon. En viktig faktor er at musklene bruker kortere tid på å utvikle like stor kraftutvikling, som før en periode med maksimal styrketrening. Dette gjør at utøveren kan få like mye fremdrift, på kortere tid. Dette gjør også at hvileperioden mellom stavgangene, og dermed også muskelkontraksjonene, blir lenger. Dette kan påvirke og forbedre forholdene for blodsirkulasjon gjennom muskelen (Østerås et al., 2002), siden blodstrømmen er redusert allerede ved muskelkontraksjoner som tilsvarer 15 % av 1RM (Shephard, 2000).

Flere studier har ikke observert noen signifikant sammenheng mellom maksimal styrke *per se* og arbeidsøkonomien eller utholdenhetsprestasjon (Bishop et al., 1999; Støren et al., 2008; 2013; Sunde et al., 2010). Dette betyr ikke at maksimal styrke ikke kan være viktig for prestasjon i utholdenhetsidretter (Joyner & Coyle, 2008). Aagaard et al. (2011) fant derimot at økt maksimal styrke etter en periode med maksimal styrketrening, kombinert med utholdenhets trening, også forbedret prestasjon på 45 minutters TT på sykkel blant amatører. Aagaard et al. (2011) fant imidlertid ingen bedring i arbeidsøkonomi som følge av styrkeøkningen. Årsakene til forbedret prestasjon ble forklart å være økt andel type IIa muskelfibre, økt maksimal styrke og forbedret RFD (Aagaard et al., 2011). Bishop et al. (1999) og Støren et al. (2013) fant derimot ingen signifikant sammenheng mellom 1RM knebøy eller maksimal power og prestasjon hos syklister. Losnegaard et al. (2011) fant imidlertid signifikante sammenhenger mellom 1RM nedtrekk og prestasjon i en 1.1 km stakesprint ( $r = -0.81$ ) og en 1.3 km fristilsprint ( $r = -0.81$ ) på rulleski på baseline-verdier. Dessuten ble det også funnet en signifikant sammenheng mellom 1RM knebøy og prestasjon i 1.3 km fristilsprint (Losnegaard et al. (2011)). Det kan derfor ikke utelukkes at også maksimal styrke *per se*, og forbedringer av dette, kan påvirke prestasjon i langrenn og andre idretter (Joyner & Coyle, 2008).

## **Antropometri**

Siden langrenn innebærer at utøveren må frakte sin egen kroppsvekt i konkurranse, er det ikke unaturlig at antropometriske faktorer, som kroppsvekt, kroppshøyde, BMI og fettprosent, kan påvirke prestasjon (Hoffman & Clifford, 1992). En større utøver, må tilsynelatende bruke mer



energi på å flytte sin egen kroppsvekt fra start til mål, enn en lettere utøver (McArdle et al., 2010). Flere studier har vist sammenhenger mellom antropometriske faktorer, som kroppsvekt, kroppshøyde, BMI, fettprosent, beinlengde og ankelomkrets, og arbeidsøkonomi i løping, og dermed også en sammenheng med løpsprestasjon (Anderson, 1996; Bunc, 2000; Lucia et al., 2006). Rabadán et al. (2011) undersøkte fysiologiske forskjeller mellom mellomdistanseløpere og langdistanseløpere. Den studien fant at langdistanseløpere hadde en signifikant lavere kroppsvekt enn mellomdistanseløperne, noe som er naturlig siden disse løperne skal frakte kroppsvekten over lengre distanser. I Støren et al. (2013) ble ingen signifikante sammenhenger observert mellom kroppsvekt, kroppshøyde, beinlengde, ankelomkrets eller fettprosent og en 15 km TT på ergometersykkel hos mannlige landeveissykklister. Tilsvarende resultater ble også funnet i Støren et al. (2011), men da i forhold til 3000 meter løping.

I langrenn har påvirkningen av antropometriske faktorer på prestasjon blitt undersøkt av Bergh (1987) og Bergh & Forsberg (1992). Bergh (1987) konkluderer med at tyngre langrennsløpere har en fordel i nedoverbakker, flatt terreng og slak motbakke basert på hvor mye energi som brukes for å forflytte kroppen. Derimot har lettere løpere en fordel i bratte motbakker (Bergh, 1987). Dette føres imidlertid videre i Bergh & Forsberg (1992) som konkluderer med at det er en tendens til at tyngre løpere er mer suksessfulle, enn lettere løpere. Dette konkluderes det med siden tyngre løpere ser ut til å ha en fordel i alle deler av terrenget, utenom bratte motbakker. Bergh (1987) observerte derimot at suksessfulle løperes kroppsvekt varierte med opptil 30 kg. Dette kan vise at høyere kroppsvekt kan veies opp for ved variasjonen i terrenget, variasjon eller forbedring av smøring og utstyr og forbedring av den fysiske kapasiteten (Bergh & Forsberg, 1992; Hoffman & Clifford, 1992).

Flere nyere studier har derimot ikke klart å avdekke noen signifikante sammenhenger mellom antropometriske variabler (kroppshøyde, kroppsvekt og BMI) og prestasjon i langrenn, verken på langdistanse (Larsson et al., 2002; Alsobrook & Heil, 2009) eller i sprint (Andersson et al., 2010; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011b). Stöggl et al. (2015) fant derimot middels sterke signifikante sammenhenger mellom langrennsprestasjon og kroppshøyde ( $r = 0.69$ ) og kroppsvekt ( $r = 0.59$ ), men ingen sammenheng med BMI hos 34 mannlige skiløpere. Disse sammenhengene var imidlertid sterkere for fristilsprestasjon enn prestasjon i klassisk. Ingen signifikant sammenheng ble observert mellom noen antropometriske variabler og kvinnelige skiløpere i samme studie. Det er derfor ingen klare indikasjoner på om antropometriske

variabler påvirker langrennsprestasjon, siden langrennsløpere viser en stor variasjon i kroppsvekt og kroppsstørrelse (Bergh, 1987; Sandbakk & Tønnessen, 2012).

## Problemstilling

Flere studier har undersøkt fysiologiske og antropometriske variabler hos langrennsløpere, og undersøkt deres sammenheng med langrennsprestasjon (Bergh, 1987; Ingjer, 1991; Mygind et al., 1991; Bergh & Forsberg, 1992; Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Hoff et al., 1999; Paavolainen et al., 1999; Mahood et al., 2001; Larsson et al., 2002; Østerås et al., 2002; Nesser et al., 2004; Stöggl et al., 2007; 2011; 2015; Alsobrook & Heil, 2009; Vesterinen et al., 2009; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011a; 2011b; Losnegaard et al., 2011; 2012; 2013; Carlsson et al., 2013). Til vår kjennskap er det derimot svært få studier som har undersøkt sammenhenger mellom et stort og bredt utvalg av fysiologiske og antropometriske variabler, og en kontrollert prestasjonstest i langrenn i en heterogen gruppe aktive langrennsløpere, slik som tidligere gjennomført i Støren et al. (2013) på syklistene. Det er viktig å oppnå mer kunnskap om prestasjonsbestemmende faktorer i langrenn, for å optimalisere treningsopplegg for langrennsløpere, både juniorer og seniorer.

Målet for den foreliggende studien er å undersøke potensielle sammenhenger mellom fysiologiske og antropometriske variabler, og en kontrollert prestasjonstest på rulleski blant aktive langrennsløpere. Problemstillingen for prosjektet lød som følger: *Hvilke utvalgte fysiologiske faktorer har størst betydning for prestasjon i langrenn?*

Vår hypotese er at en prestasjonsformel som representerer både aerob kapasitet, maksimal styrke i overkropp og spesifikk spenst, ville predikere prestasjon blant utøverne i størst grad.

Formelen så slik ut:

Prestasjon (s) =  $VO_{2maks}$  (ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>) · 1 RM nedtrekk (kg/kroppsvekt) · ettbeinshopp (snitthøyde i cm)

Denne formelen er basert på tidligere prestasjonsformler av di Prampero (2003) og Støren et al. (2013), selv om det er enkelte ulikheter. Arbeidsøkonomien er tatt ut av formelen, ikke fordi den er uviktig, men fordi det av praktiske grunner ikke lar seg teste i den foreliggende studien. I tillegg var vi spesielt nysgjerrig på styrke- og spenstegenskapene.

Samtidig var vår hypotese at  $VO_{2maks}$  var den enkeltvariabelen som predikerer prestasjon i størst grad.

## 2.0 Metode

### Metodisk tilnærming

Den foreliggende studien ble gjennomført som en tverrsnittsstudie. En tverrsnittsstudie er: «... undersøkelser som er gjort på ett tidspunkt eller i løpet av en kort tidsperiode på et utvalg individer. Respons- og eksponeringsvariabler måles samtidig. Tverrsnittstudier har dermed ingen tidsdimensjon og ingen oppfølging (Veierød & Thelle, 2013, s. 235).» Denne metoden gav mulighet til å undersøke mange forskjellige variabler samtidig, uten for mye tidsbruk. Den gav også mulighet til å undersøke sammenhenger mellom fysiologiske variabler og prestasjon i langrenn hos et høyt antall langrennsutøvere, siden metoden er relativt lite tid- og ressurskrevende (Veierød & Thelle, 2013).

For å gjennomføre den foreliggende studien ble et utvalg aktive langrennsløpere, i junioralder, testet i et utvalg antropometriske og fysiologiske variabler. Forsøkspersonene ble testet i 11 forskjellige fysiologiske og fysiske tester, som både evaluerte utholdenhet-, styrke- og spenstvariabler. Resultatene av disse testene ble senere analysert opp mot prestasjon i en simulert langrennskonkurranse på rulleski, fristil, i en egen asfaltert rulleskiløype.

### Forsøkspersoner

40 aktive langrennsløpere og skiskyttere (28 gutter og 12 jenter), i junioralderen (16 – 20 år), ble rekruttert til prosjektet. Av disse, ble 8 utøvere ekskludert fra resultatene (6 gutter og 2 jenter), fordi disse ikke fikk gjennomført testløpet av medisinske og praktiske grunner. Utøverne kom fra lokale langrennsteam, eller videregående skoler med langrenn som fordypning fra Sør- og Øst-Norge. Disse ble rekruttert ved hjelp av muntlig forespørsel til lagets eller skolens trenere. Hvis de ønsket å delta i studien, fikk de også et informasjonsskriv (vedlegg 1). Alle utøverne ble informert om studien, og hvilke tester som skulle utføres på forhånd. Utøverne fylte også ut et egenerklæringsskjema på forhånd, som ble overlevert til testansvarlig før testingen startet (vedlegg 2). Dette ble gjort for å få en oversikt over utøverens sykdomshistorie, og for å kartlegge eventuelle hensyn som måtte tas under testingen. Inklusjonskriteriene for dette prosjektet var at utøverne skulle være friske, og aktive konkurranseutøvere innen langrenn eller skiskyting. Dette ble gjort for at vi skulle sikre at utøverne var kjent med å gå på rulleski, og i å presse seg i en konkurranselik situasjon. Selv

om alle var konkurranseutøvere, varierte nivået fra topp nasjonalt til middels regionalt nivå. Denne heterogeniteten ble brukt for å øke mulighetene for å undersøke korrelasjoner mellom fysiologiske og antropometriske variabler og prestasjon i testløpet. Karakteristikker for utøverne kan sees i tabell 1. Alle langrennsløperne var i deres forberedelsesperiode til konkurransesesongen under testperioden. Testingen ble utført høsten 2014 og høsten 2015. Studien er godkjent av regional medisinsk etisk komite (REK), helse Sør-Øst (2014/2213 Fysiologiske variabler av betydning for prestasjon i fristil rulleski) REK Helse Sør-Øst 20.02.2015)), og av forskningsansvarlig ved Høgskolen i Sør-Øst Norge.

**Tabell 1: Karakteristikk av utøverne**

N = 32	Gjennomsnitt ± SD	Variasjonskoeffisient (%)
<b>Alder</b>	17.4 ± 1	5.8
<b>Antropometri</b>		
Kroppshøyde (cm)	178.9 ± 7.4	4.1
Kroppsvekt (kg)	68.6 ± 6.7	9.8
BMI	21.5 ± 1.4	6.5
<b>VO<sub>2maks</sub></b>		
ml · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	65 ± 6.9	10.6
L · min <sup>-1</sup>	4.5 ± 0.7	15.5
ml · kg <sup>-0.67</sup> · min <sup>-1</sup>	271.9 ± 29.8	11.0
<b>Styrke og spenst<sup>§</sup></b>		
1RM knebøy (kg)	119.8 ± 26.5	22.1
1RM knebøy (kg / kroppsvekt <sup>-0.67</sup> )	7.03 ± 1.48	21.0
1RM knebøy (kg / kroppsvekt)	1.47 ± 0.73	49.4
1RM nedtrekk (kg)	83.9 ± 16.5	19.7
1RM nedtrekk (kg / kroppsvekt <sup>-0.67</sup> )	4.9 ± 0.82	16.7
1RM nedtrekk (kg / kroppsvekt)	1.21 ± 0.2	16.1
Knebøy power (W)	858.7 ± 187.8	21.9
SJ (cm)	27 ± 4.1	15.2
CMJ (cm)	30.9 ± 4.7	15.3
CMJas (cm)	36.8 ± 5	13.5
<b>Ettbeinshopp</b>		
Gjennomsnitt hopp høyde (cm)	16.7 ± 3.2	19.3
Hopp høyde nedgang (%)	-4.1 ± 19.3	-467.3
<b>Testløp prestasjon</b>		
Tid (sek)	818.2 ± 81	9.9

Verdiene er oppgitt i gjennomsnitt, ± standardavvik (SD) og variasjonskoeffisient i prosent. BMI = body mass index; VO<sub>2maks</sub> = maksimalt oksygenopptak; 1RM = en repetisjon maksimum; Knebøy power = peak power (Newton meter per sekund) i knebøy; SJ = squat jump CMJ = counter-movement jump; CMJas = counter-movement jump m/armsving; Gjennomsnitt hopp høyde = gjennomsnittlig hopp høyde over 30 hopp i cm; <sup>§</sup> N = 27.

## Testprosedyrer og testutstyr

Alle de fysiologiske testene som ble gjort i dette prosjektet ble utført ved idrettsfysiologisk laboratorium ved Høgskolen i Sør-Øst Norge, avd. Bø. Noen utøvere gjennomførte hele testbatteriet på en dag, noen på to dager og andre på tre dager. Dette ble gjort for å ta hensyn til at noen av gruppene som ble testet hadde lang reisevei, og ikke hadde mulighet til å bli værende i flere dager. Testrekkefølgen var imidlertid den samme for hver gruppe, og testprosedyren for hver test var lik for alle forsøkspersonene. Først ble utøverne målt i antropometriske data, deretter ble utøverne testet i  $VO_{2\text{ maks}}$ , SJ, CMJ, CMJas og ettbeins hopp. Etter dette ble 1RM nedtrekk, maks power og 1RM knebøy målt. Tilslutt utførte utøverne et standardisert testløp i rulleskiløype i fristil. På grunn av begrensninger i utstyr og valg av fristil i testløpet ble ikke arbeidsøkonomi testet, noe som ville vært ønskelig hvis det hadde vært mulighet for det. Når utøverne ankom testlaboratoriet ble de orientert om hvilke tester som skulle utføres, og hvordan dagen ville forløpe seg. Prosedyrene før første test ble gjort på samme måte som i Støren et al. (2013). Utøverne fikk mulighet til å forberede seg som til en vanlig langrennskonkurranse. Alle testene ble gjennomført mellom kl. 08.00 og 18.00. Utøverne ble instruert til å hvile eller trene lett de siste 24 timene før testingen. Utøverne fikk ikke lov til å spise innen 2 timer før første test ( $VO_{2\text{ maks}}$ ), og de siste to timene før første test fikk utøverne kun lov til å drikke vann.

## Antropometriske data

Kroppshøyden ble målt med et målebånd, ved at utøverne stod inntil en vegg. Utøverne ble målt uten sko på beina. Utøvernes kroppsvekt ble målt på en digital vekt (Tefal Sensitive Computer Pp 6010, Frankrike). Utøverne ble veid med de klærne de ønsket å løpe  $VO_{2\text{ maks}}$  – testen med, som oftest en lett t-skjorte, tights eller shorts og sokker. Utøverne ble også veid uten sko. 0,5 kg ble trukket fra totalvekten for å kompensere for klærne som utøverne hadde på seg. BMI ble regnet ut ved bruk av følgende formel:

$$\text{Vekt(kg)} / \text{høyde(m)}^2 = \text{BMI}$$

## $VO_{2\text{ maks}}$

Før utøverne gjennomførte denne testen, utførte de en 15 – 20 minutters selvstyrt oppvarming på tredemølle. Oppvarmingen ble utført ved løping. Utøverne ble oppmuntret til å følge sine

egne oppvarmingsritualer. Etter oppvarmingen ble forsøkspersonene orientert om testen, og fikk kjennskap til hvordan testen ville forløpe seg.

Testen ble utført på en Woodway PPS55 (Waukesha, WI, USA) tredemølle, kalibrert for stigning og hastighet. Det ble brukt to forskjellige maskiner for å måle  $VO_{2maks}$ . Disse to var Sensor Medics Vmax Spectra (Sensor Medics 229, Yourba Linda, CA, USA), hvor  $VO_2$  ble målt hvert tyvende sekund, og Cortex Metalyzer II (CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Germany), hvor  $VO_2$  ble målt hvert tiende sekund. Gassanalytorene ble kalibrert før hver test ved bruk av sertifiserte kalibreringsgasser (26%  $O_2$  og 16%  $O_2/4\% CO_2$ ) og romluft. Flow-sensoren ble kalibrert mot en 3-L kalibreringspumpe for begge maskinene (Hans Rudolph, Kansas City, MO, USA; CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) før testingen startet. Målinger ved bruk av Vmax Spectra og Cortex Metalyzer II er nøyaktige innenfor  $\pm 3\%$ , ifølge produsentene. Derimot har tester ved bruk av Vmax Spectra, i testlaboratoriet ved Høgskolen i Sør-Øst Norge, vist at variasjonene er mindre enn  $\pm 1\%$ , som vist i Helgerud et al. (2010). De samme variasjonene er også funnet ved bruk av Cortex Metalyzer II i testlaboratoriet ved Høgskolen i Sør-Øst Norge. Måleforskjellene mellom de to maskinene, som ble brukt i dette prosjektet, er utredet i upubliserte tester gjort ved idrettsfysiologisk laboratorium ved Høgskolen i Sør-Øst Norge. Dette har vist at Vmax Spectra måler  $1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  høyere ved  $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  enn Cortex Metalyzer II, en forskjell på  $\pm 1,67\%$ .

$VO_{2maks}$ -testen ble utført ved løping. Utgangshastigheten for guttene var 8 km/t, mens utgangshastigheten for jentene var 6 km/t. Utgangshastigheten og helningsgrad (10 %) ble bestemt på bakgrunn av samtaler med veiledere, og utøvernes trenere. Testen startet med 30 sekunder konstant hastighet som utgangsfart. Deretter ble hastigheten økt med 0,5 km/t hvert 30. sekund. Utøverne ble spurt hvert halvminutt om de ville øke farten (tommel opp), eller om de ville beholde den nåværende hastigheten (flat hånd). Verbal oppmuntring og motiverende tilbakemeldinger ble gitt under hele testen. De samme testlederne ble brukt ved alle testene. Hjertefrekvensen (HF) ble målt underveis gjennom hele testen, og notert ned. HF ble målt ved bruk av Polar RS400 pulsklokker (Kempele, Finland), eller utøvernes private pulsklokker. Testen ble avsluttet når utøveren hoppet av mølla, eller brukte nødstopppknappen, og avsluttet ved frivillig utmattelse. Denne testen tok maksimalt 8 – 9 minutter, som anbefalt i McArdle et al. (2010), og brukt i Støren et al. (2013).  $VO_{2maks}$  ble regnet ut ved å ta gjennomsnittet av de to høyeste påfølgende  $VO_2$ -målingene. I tillegg til frivillig utmattelse, ble  $RER \geq 1.05$  og en tydelig avflatning av  $VO_2$ -kurven brukt som kriterier for å vurdere om  $VO_{2maks}$  ble oppnådd,

som gjort i Støren et al. (2013). Siden vi ikke visste alle utøvernes maksimale HF ( $HF_{maks}$ ) ble ikke dette brukt aktivt som et kriterium for oppnådd  $VO_{2maks}$ , men det ble brukt som en kontroll for de utøverne hvor  $HF_{maks}$  var kjent.

Etter at  $VO_{2maks}$ -testen var avsluttet fikk utøverne minst 30 minutters hvile, før de gjennomførte spenst- og styrketestene. Dette har vist seg å være tilstrekkelig for at en  $VO_{2maks}$  test ikke skal påvirke resultater i styrke- og spensttester (Støren et al., 2008). I denne hvileperioden ble forsøkspersonene anbefalt å drive lett aktivitet, som å sykle, løpe eller gå.

## Spenstvariabler

Etter minst 30 minutter hvile gjennomførte utøverne spensttestene. Hopp høyde ble registrert og kalkulert ved hjelp av Muscle Lab versjon 2 (Ergo test Technology, Langesund, Norway) ved bruk av lysrør, i alle testene. Ved hjelp av dette systemet blir hopp høyde kalkulert ut fra svevtid. Hver utøver gjennomførte testene i følgende rekkefølge: SJ, CMJ, CMJas og ettbeins hopp. For de utøverne som hadde tatt  $VO_{2maks}$ -testen tidligere på dagen, fungerte dette, og den aktive hvileperioden, som oppvarming til spensttestene. For de utøverne som gjennomførte  $VO_{2maks}$ -testen dagen før, ble det gjennomført en 10 – 15 minutters selvvalgt oppvarming

### *Squat jump (SJ)*

Før testen begynte ble utøverne forklart hvordan testen ville forløpe seg, og hvordan de skulle utføre testen. Utøverne ble også instruert i teknikken i SJ i god tid før testen startet, slik at dette var mulig å øve på før selve testen. Utøverne ble instruert til å gjennomføre noen hopp i løpet av oppvarmingen, slik at de ble vant til øvelsen, og fikk en spesifikk oppvarming. Utøverne startet testen med 90 grader i kneleddet, med hendene plassert på hoftene. Vinkelen i kneleddet ble kontrollert med øyemål, og subjektivt vurdert av erfarne testansvarlige. Fra denne posisjonen skulle utøverne hoppe rett opp, uten tegn til svikt i bein eller overkropp. Utøverne fikk ikke lov til å trekke opp beina under landingen. Utøverne gjennomførte 3 – 4 hopp, hvor det høyeste ble lagret som tellende resultat. Hoppet ble ikke godkjent hvis det ble observert svikt i bein eller overkropp, eller hvis beina ble trukket opp under landingen. Etter utført test fikk alle utøverne 4 minutter pause før neste spensttest. Dette ble gjort fordi tidligere studier har vist at kreatinfosfat (CrP) lagrene trenger omtrent 2 – 4 minutter for å bygge seg opp igjen (Harris et al., 1976; Sahlin et al., 1979). På bakgrunn av dette ble pauselengden satt til 4 minutter, siden eksplosive og maksimale muskelaksjoner er avhengig av fulle Crp-lagre (Raastad et al., 2010).

### *Counter-movement jump (CMJ)*

I pausen mellom SJ og CMJ ble utøverne forklart hvordan CMJ skulle utføres. De ble også instruert til å øve på bevegelsen i pausen. Testen startet i oppreist posisjon, med hendene plassert på hoftene. Videre prosedyre for testen var å utføre en rask svikt, til valgfri dybde, for så å generere mest mulig kraft opp igjen for å hoppe så høyt som mulig. Utøverne utførte 3 – 4 hopp, hvor det høyeste ble lagret som tellende resultat. Hoppet ble ikke godkjent hvis utøveren trakk opp beina under landingen. Etter avsluttet test fikk utøverne 4 minutter pause før neste spensttest. Lengden på pausen ble valgt på bakgrunn av de samme argumentene som nevnt tidligere.

### *Counter-movement jump med armsving (CMJas)*

I pausen mellom CMJ og CMJas, ble utøverne forklart hvordan CMJas skulle utføres. De ble også instruert til å øve på bevegelsen i pausen. Testen ble utført på samme måte som CMJ, men i denne testen ble armene brukt aktivt i hoppet. Utøverne kunne utføre svikten til valgfri dybde. Utøverne gjennomførte 3 – 4 hopp, hvor det høyeste ble lagret som tellende resultat. Hoppet ble ikke godkjent hvis utøverne trakk opp beina under landingen. Etter avsluttet test fikk utøverne 5 minutter pause før neste spensttest.

### *Ettbeinshopp*

Denne testen ble utviklet i samarbeid med veiledere, og har ikke blitt brukt i andre forskningsprosjekt, som vi vet om. Utøverne ble instruert i testen under pausen mellom denne testen og CMJas. I testen skulle utøverne hoppe vekselvis fra bein til bein 30 ganger, slik at utøveren gjennomførte 15 hopp på hvert bein. Utøverne startet i oppreist posisjon, og fikk velge hvilket bein de ville starte med. Utøverne ble instruert i at de skulle hoppe så høyt som mulig, med maksimal innsats, på hvert hopp, og ikke hoppe sideveis. Under testen telte testansvarlig antall hopp for utøveren. Gjennomsnittlig hopp høyde og prosentvis nedgang gjennom testen ble kalkulert, og brukt som resultat fra denne testen. Prosentvis nedgang ble kalkulert ved å regne ut gjennomsnittet av 3., 4. og 5. hopp og gjennomsnittet av 28., 29. og 30. hopp. Hopp høyde bestemmes hovedsakelig av retning og størrelse på kraftutviklingen i strekkapparatet i beina, og kan gi et bilde av utøverens balanse og tyngdeoverføring, samt beinstyrke og spenst (Rusko, 2003; Wisløff et al., 2004; Rønnestad et al., 2008). Fall i hopp høyde gjennom testen bestemmes hovedsakelig av anaerob utholdenhetskapasitet, og kan på denne måten gi et bilde av utøvernes anaerobe kapasitet (Gastin, 2001; McArdle et al.,



2010). Testen hadde ingen tidsbegrensning, men det var ikke tillatt å stoppe helt opp og hvile underveis. Testen varte i gjennomsnitt 51,4 sekunder  $\pm$  14 sekunder.

### **Maksimal styrke og power**

Den første maksimale styrketesten var 1RM nedtrekk. Denne testen ble utført i en Gym2000 nedtrekkmaskin (Gym2000 AS, Vikersund, Norway) med stang. Utøverne fulgte en fast oppvarmingsprosedyre før de begynte forsøkene på 1RM. De startet med 10 repetisjoner på 50 % av 1RM. Ikke alle utøverne hadde gjennomført en 1RM test tidligere, dermed visste vi ikke nøyaktig hvor 50 % av 1RM var hos den enkelte. I disse tilfellene tok vi utgangspunkt i kroppsvekt, og halverte denne for å finne utgangsvekten i testen. Videre gjennomførte alle utøverne 5 repetisjoner på 60 %, 3 repetisjoner på 70 % og 2 repetisjoner på 80 % av 1RM. Deretter økte motstanden med 5 kg for hvert forsøk, med kun en repetisjon, til utøveren hadde nådd 1RM. Mellom hvert sett fikk utøverne 3 minutter pause, både i oppvarmingsprosedyren og mellom 1RM forsøkene. Pausetiden ble valgt på bakgrunn av argumenter som er nevnt under avsnittet om spensttestene. Utøverne ble instruert til at stangen skulle trekkes ned under haken. Blikket skulle rettes fremover, og ryggen skulle være rett. Utøveren skulle sitte mest mulig oppreist, og ikke lene seg bakover under løftet. Bredden på grepet skulle være slik at når overarmen stod rett ut fra kroppen, var det 90 grader i albueleddet. Hvis denne teknikken ikke ble fulgt tilfredsstillende, ble løftet ikke godkjent. Utøvernes 1RM ble definert som den maksimale motstanden som ble løftet med riktig teknikk.

Maks effekt og 1RM knebøy ble gjennomført i en Smith-maskin (Precore, Woodinville, WA, USA). Før testen startet ble sikkerhetslåsene stilt inn slik at vektstangen stoppet i nedre posisjon hvis noe skulle gå galt. På denne måten ville ikke utøverne få betydelige vekter over seg hvis de ikke klarte løftet. Utøverne ble også instruert i teknisk utførelse i knebøy av testansvarlig før testen startet. Utøverne skulle senke seg ned til nedre posisjon i et rolig tempo, med kort stopp i denne posisjonen. Nedre posisjon var nådd når det var 90 grader i kneleddet, og dette ble kontrollert ved en subjektiv vurdering, ved bruk av øyemål, av erfarne testansvarlige. Dette ble imidlertid etterprøvd i Muscle Lab, av testansvarlig, ved å se på distanse løftet under testen. Fra nedre posisjon skulle utøverne mobilisere maksimalt i den konsentriske fasen, ved å løfte stanga med høyest mulig hastighet. Rygg og knær ble overvåket av testansvarlig i alle løft, slik at utøverne skulle unngå skader og feil teknikk.

Utøverne gjennomførte samme oppvarmingsprosedyre som ved 1RM nedtrekk, og som gjort i Sunde et al. (2010). Flere av utøverne hadde ikke testet 1RM knebøy tidligere. Derfor ble utgangsmotstanden på 50 % av 1RM estimert ut fra samtaler med utøverne og trenerne, og tidligere erfaringer av testansvarlige. Under oppvarmingsprosedyren ble watt (W) målt under alle løftene ved bruk av Muscle Lab versjon 1 (Ergo test Technology, Langesund, Norway). Mengden watt som blir utviklet kalkuleres elektronisk ved hjelp av arbeidsvei, tid brukt i løftet og antall kilo løftet. Den høyeste watt-målingen i disse løftene ble lagret og brukt som tellende resultat. Etter dette ble motstanden økt med 5 – 10 kg for hvert forsøk, med 3 minutter pause mellom hvert forsøk, til 1RM var nådd. Utøvernes 1RM ble definert som den maksimale motstanden utøverne klarte å løfte med riktig teknikk. Under 1RM forsøkene stod to testansvarlige som sikring på hver side av stangen, hvis noe skulle gå galt. Testen ble avsluttet hvis testansvarlig, i dialog med utøveren, mente at utøveren ikke klarte å løfte høyere motstand med riktig teknikk, eller at utøveren følte ubehag i rygg eller knær. Dette ble gjort med tanke på å unngå skader. Etter disse styrketestene fikk alle utøverne minst 1 time pause før testløpet.

### **Testløp rulleski, fristil (5,64 km)**

Utøverne gjennomførte en simulert langrennskonkurranse på rulleski i fristil. Fristil ble valgt fordi det gjorde det lettere å rekruttere både langrennsløpere og skiskyttere. Dette testløpet ble gjennomført på en asfaltert rulleskiløype på Nordbøåsen i Bø i Telemark. Løypen var kupert og variert, og inneholdt både flatt terreng, motbakker og nedoverbakker. Løypen var 940 meter lang, og utøverne gjennomførte 6 runder. Tiden ble målt ved bruk av stoppeklokker. Utøverne brukte sine private rulleski, staver og skisko. Alle rulleskiene brukte Swenor 2-hjul (Swenor, Sarpsborg, Norway) eller tilsvarende under testen. I tilfeller hvor det var mistanke om at Swenor 2-hjulene hadde forskjellig rullemotstand, ble det gjennomført rulletester for å finne de rulleskiparene som rullet mest likt. Da ble det valgt ut 3 – 5 par ski som rullet likt, deretter valgte utøverne vilkårlig ut hvilke par de ville gå med. Det ble satt ut kjepler for å markere løypa slik at utøverne ikke kunne benytte en kortere vei rundt svingene. Utøverne gjennomførte en 15 – 20 minutters selvstyrt oppvarming på rulleski før løpet begynte. Utøverne ble delt inn i puljer etter nivå i samarbeid med trenerne. Hver pulje bestod av 3 – 5 utøvere. Testløpet ble gjennomført som intervallstart, og forsøkspersonene startet med ett minutt intervall. Dette ble gjort for at utøverne skulle gå et individuelt løp, med minimal påvirkning fra hverandre. Under løpet ble det praktisert temposykkelregler for å unngå

drafting (10 m avstand, 30 sekunder på å gå forbi). Utøverne fikk derfor ikke lov til å legge seg i ryggen til hverandre når de tok igjen andre, eller ble tatt igjen av andre. Dette ble utøverne gjort oppmerksom på før start.

7 av utøverne gjennomførte testløpet på vått føre, mens resten gjennomførte på tørr asfalt. På bakgrunn av dette ble det gjennomført rulletester på vått og tørr føre. Dette ble gjort i to forskjellige terrengetyper i løypen, en test i slak nedoverbakke, og en annen i bratt nedoverbakke. Tiden det tok å rulle en gitt distanse i de to terrengetypene ble målt med stoppeklokker, og gjennomsnittstiden ble regnet ut fra 6 målinger i begge testene. Den prosentvise differansen mellom vått og tørr føre, i de to testene, ble dermed kalkulert til en felles prosentvis differanse for begge testene. På bakgrunn av resultatene av disse rulletestene, ble utøverne som gjennomførte løpet på vått føre fratrukket 4 % av den tiden de brukte på testløpet.

## Allometrisk skalering

$VO_{2maks}$  verdiene i denne oppgaven er oppgitt i  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ,  $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  og i  $L \cdot min^{-1}$ . Dette er foreslått av Åstrand et al. (2003), og tar bedre hensyn til utøvernes ulike kroppsvekt når man uttrykker  $VO_{2maks}$  i forhold til prestasjon (kondisjonstall). Dette er valgt fordi studier har vist at  $VO_{2maks}$  uttrykt som  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  underestimeres i forhold til tyngre utøvere, og overestimerer lettere utøvere, i forhold til prestasjon (Chamari et al., 2005; Hoff et al., 2005).

## Statistiske analyser

Data ble testet ved bruk av QQ-plot, og viste at de representerte en normalfordelt fordeling. Alle verdier blir oppgitt i enten gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik eller korrelasjonskoeffisienten  $r$ . For å undersøke eventuelle sammenhenger mellom fysiologiske variabler og prestasjon i testløpet, ble regresjons- og korrelasjonsanalyser gjennomført. Pearson bivariante 2-tailed korrelasjonstest ble brukt for å finne korrelasjoner mellom variablene. 2-tailed statistikk ble valgt fordi ikke alle variablene som ble testet korrelerte enten positivt eller negativt med prestasjon i testløpet. For korrelasjonstestene ble også standard error of estimate (*SEE*) utregnet for å forklare resultatene i større grad. Disse ble utregnet ved hjelp av single regression analyser.

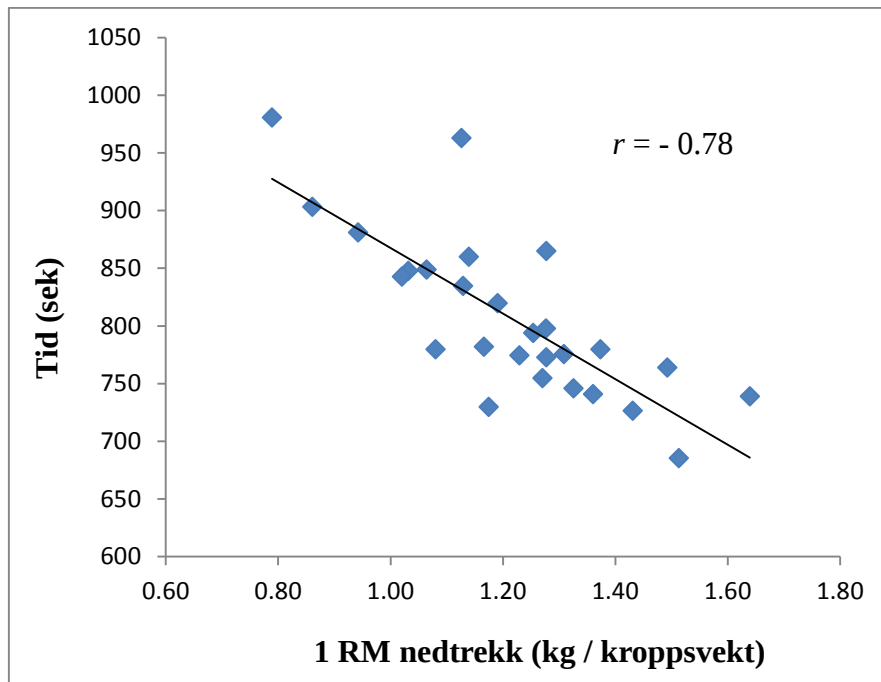
Siden resultatene i flere av de utvalgte variablene blir påvirket av resultater i andre variabler, kunne ikke korrelasjonsresultatene bare summeres sammen for å forklare eller predikere prestasjon i testløpet. Hvis  $r$ -verdiene bare hadde blitt summert ville resultatene forklart langt over 100 % av prestasjon i testløpet. I denne sammenheng ble variation inflation factor (VIF) utregnet. Dette ble gjort for å forklare hvor mye utvalgte variabler forklarte resultatene i andre variabler. For å unngå additive effekter av variablene som ville være gjensidig avhengig av hverandre, ble dette gjort for faktorene i prestasjonsformelen. Følgende grenseverdier ble brukt for å kategorisere godkjent VIF faktor: Ingen kolinearitet = 1.0, Lav/Middels kolinearitet =  $>1.0$  og  $< 5.0$ , Høy kolinearitet =  $> 5.0$  til 10.0 (SPSS, IBM, Armonk, NY, USA). Statistiske analyser for menn og kvinner hver for seg i den foreliggende studien vil ikke bli presentert, siden utvalgene separat var for små til å avdekke korrelasjoner mellom variablene og prestasjon, i henhold til statistiske styrkeberegninger.

Statistiske analyser ble gjennomført ved bruk av Statistical paccage for social sciences (SPSS), versjon 22 (IBM, Armonk, NY, USA). For alle resultater ble signifikansnivået satt til  $p = 0.05$ . Sterke korrelasjoner ble bestemt ut fra  $r^2 > 0.5$ ,  $SEE < 10\%$  og  $p < 0.01$ . Middels sterke korrelasjoner ble bestemt ut fra  $r^2 > 0.5$ ,  $SEE \approx 10\%$ ,  $p < 0.01$ . Svake korrelasjoner ble bestemt ut fra  $r^2 < 0.5$ ,  $SEE > 10\%$  og  $p < 0.05$ .

## 3.0 Resultater

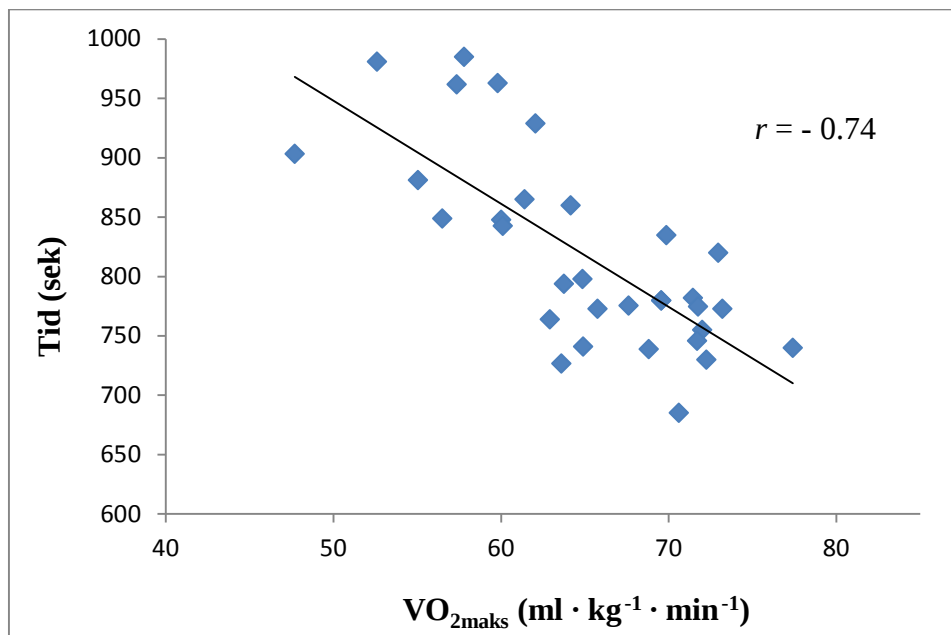
Testresultater fra de forskjellige fysiologiske testene er oppsummert i tabell 1. Resultatene er bare presentert i samlet gruppe, og ikke kjønnsfordelt, for hele utvalget.

Den enkeltvariabelen som korrelerte best med tidsprestasjon i testløpet var 1RM nedtrekk, når resultatet ble dividert på utøvernes totale kroppsvekt ( $r = -0.78$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 5.5\%$ ) (Figur 1). Denne variabelen forklarte, i seg selv, 61 % av prestasjonen blant utøverne ( $r^2 = 0.61$ ). 1RM nedtrekk uttrykt i forhold til kroppsvekt<sup>0.67</sup> viste også en sterk korrelasjon med prestasjon ( $r = -0.77$ ,  $r^2 = 0.59$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 5.67\%$ ). 1RM nedtrekk uttrykt i absolutte verdier viste en litt svakere korrelasjon, enn når resultatet ble relatert til kroppsvekt ( $r = -0.67$ ,  $r^2 = 0.45$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 6.58\%$ ).



**Figur 1:** Forhold mellom tid, i sekunder, brukt i testløpet og resultatet i 1RM nedtrekk uttrykt i forhold til total kroppsvekt.

Blant  $VO_{2maks}$  verdiene ble det funnet sterkest korrelasjon mellom prestasjon og  $VO_{2maks}$  uttrykt som  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  ( $r = - 0.74$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 6.77\%$ ) (Figur 2). Denne variabelen forklarte, i seg selv, 55 % av prestasjonen blant utøverne ( $r^2 = 0.55$ ). Når  $VO_{2maks}$  ble uttrykt som  $L \cdot min^{-1}$  og  $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$ , ble det henholdsvis funnet middels ( $r = - 0.61$ ,  $r^2 = 0.37$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 8.0\%$ ) og svake korrelasjoner ( $r = - 0.40$ ,  $r^2 = 0.16$ ,  $p < 0.05$ ,  $SEE = 9.24\%$ ) med prestasjon.



**Figur 2:** Forhold mellom tid, i sekunder, brukt i testløpet og  $VO_{2maks}$  uttrykt som  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ .

Blant spenstvariablene ble det funnet middels sterke korrelasjoner mellom prestasjon og SJ ( $r = -0.62$ ,  $r^2 = 0.38$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 7.08\%$ ) og CMJas ( $r = -0.58$ ,  $r^2 = 0.34$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 7.18\%$ ). I CMJ ble det derimot funnet en svak korrelasjon ( $r = -0.45$ ,  $r^2 = 0.2$ ,  $p < 0.05$ ,  $SEE = 8.07\%$ ). Gjennomsnittlig hopp høyde i ettbeinshopp-testen viste en middels sterk korrelasjon, hvor variabelen, i seg selv, forklarte 27 % av prestasjonen ( $r = -0.52$ ,  $r^2 = 0.27$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 8.63\%$ ). Blant de antropometriske variablene ble det bare funnet en svak korrelasjon mellom kroppshøyde og prestasjon ( $r = -0.40$ ,  $r^2 = 0.16$ ,  $p < 0.05$ ,  $SEE = 3.72\%$ ).

Ingen signifikante sammenhenger ble funnet mellom prestasjon og kroppsvekt, BMI, 1RM knebøy, 1RM knebøy uttrykt som kg/kroppsvekt<sup>-0.67</sup> og kg/kroppsvekt, knebøy power og prosentvis nedgang i hopp høyde i ettbeinshopp-testen. Korrelasjoner er presentert i tabell 2.

**Tabell 2. Korrelasjoner mellom variablene og tid brukt (sek) i testløp (n = 32 (27)).**

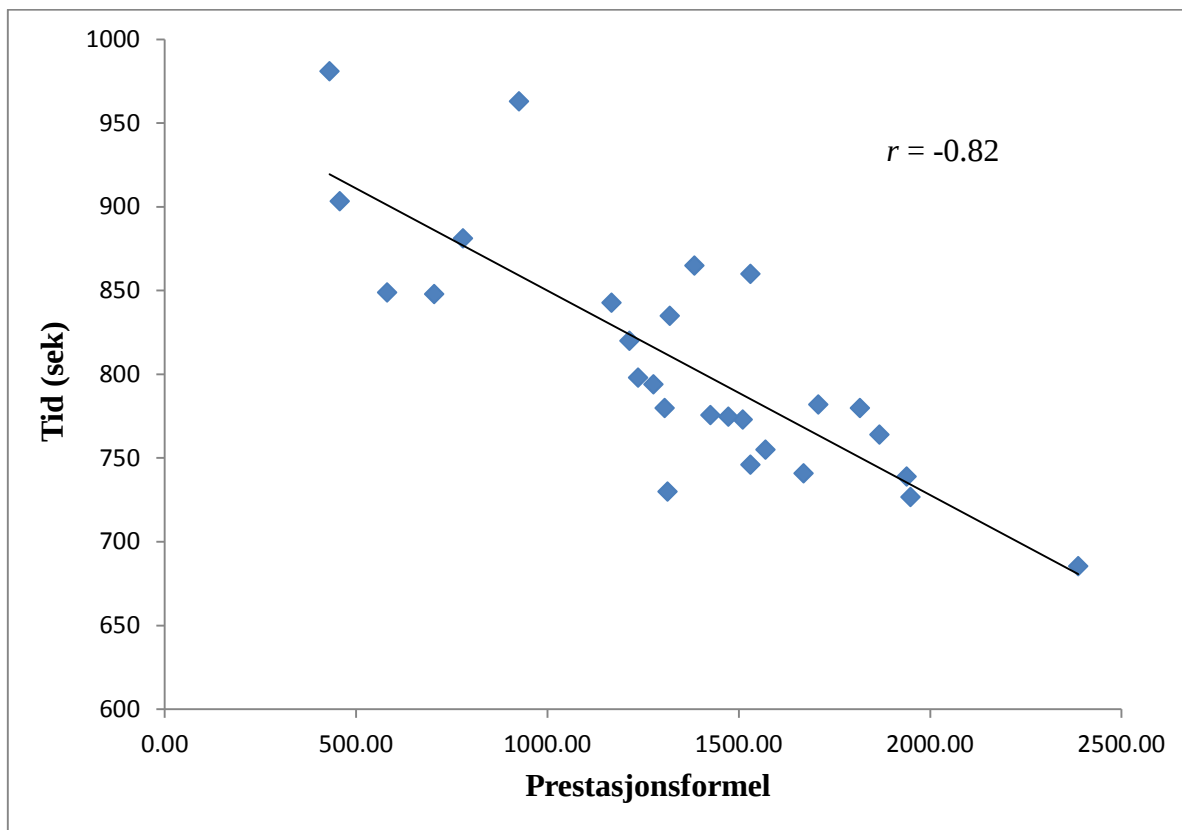
	R	SEE (%)
<b>Antropometri</b>		
Kroppshøyde	- 0.40*	3.72
<b>VO<sub>2maks</sub></b>		
ml · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup>	- 0.74**	6.77
L · min <sup>-1</sup>	- 0.61**	7.99
ml · kg <sup>-0.67</sup> · min <sup>-1</sup>	- 0.40*	9.24
<b>Styrke og spenst</b>		
1RM nedtrekk		
Kg	- 0.67**	6.58
Kg / Kroppsvekt <sup>-0.67</sup>	- 0.77**	5.67
Kg / Kroppsvekt	- 0.78**	5.51
SJ	- 0.62**	7.08
CMJ	- 0.45*	8.07
CMJas		
<b>Ettbeinshopp</b>		
Gjennomsnitt hopp høyde (cm)	- 0.58**	7.18
	- 0.52**	8.63
<b>Prestasjonsformel</b>		
VO <sub>2maks</sub> (ml · kg <sup>-1</sup> · min <sup>-1</sup> ) · 1RM nedtrekk (Kg / Kroppsvekt) · Ettbeinshopp (snitthøyde i cm)	- 0.82**	5.1

\*  $r$  = korrelasjonskoeffisient;  $SEE$  = standard error of estimate uttrykt i prosent; VO<sub>2maks</sub> = maksimalt oksygenopptak; 1RM = 1 repetisjon maksimum; SJ = squat jump; CMJ = counter-movement jump; CMJas = counter-movement jump med armsving; Prestasjonsformel: VO<sub>2maks</sub> = uttrykt som ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>; 1RM nedtrekk = uttrykt som relativ muskelstyrke; ettbeinshopp (snitthøyde i cm) = gjennomsnittlig hopp høyde, uttrykt i cm, over 30 ettbeinshopp.

\* =  $p < 0.05$

\*\* =  $p < 0.01$

Resultatet ved bruk av prestasjonsformelen, som ble laget for den foreliggende studien ( $VO_{2maks}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )  $\cdot$  1RM nedtrekk ( $kg/kroppsvekt$ )  $\cdot$  ettbeinshopp (snitthøyde i cm)), korrelerte bedre med tid brukt i testløpet enn alle enkeltvariablene ( $r = -0.82$ ,  $p < 0.01$ ,  $SEE = 5.1\%$ ). Denne formelen forklarte, i seg selv, 67 % av prestasjonen blant utøverne ( $r^2 = 0.67$ ). Forholdet mellom prestasjonsformelen og tid brukt i testløpet er vist i Figur 3.



**Figur 3:** Forholdet mellom tid brukt, i sekunder, i testløpet og resultater fra prestasjonsformelen ( $VO_{2maks}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )  $\cdot$  1RM nedtrekk ( $kg / kroppsvekt$ )  $\cdot$  ettbeinshopp (snitthøyde i cm)) ( $n = 27$ ).

## 4.0 Diskusjon

Målet for den foreliggende studien var å undersøke potensielle sammenhenger mellom fysiologiske og antropometriske variabler, og en kontrollert prestasjonstest på rulleski blant aktive langrennsløpere. Hovedfunnene i den foreliggende studien var at prestasjonsformelen ( $\text{Prestasjon (s)} = \text{VO}_{2\text{maks}} (\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) \cdot 1 \text{RM nedtrekk (kg/kroppsvekt)} \cdot \text{ettbeinshopp (snitthøyde i cm)}$ ), som representerer både utholdenhets-, overkroppsstyrke- og spesifikk spenst, viste den sterkeste korrelasjonen med prestasjon i et testløp på rulleski (fristil) ( $r = -0.82, p < 0.01, SEE = 5.1\%$ ) blant alle variablene. Den enkeltvariabelen som korrelerte best med langrennsprestasjon i den foreliggende studien var 1RM nedtrekk, uttrykt i forhold til utøvernes totale kroppsvekt ( $r = -0.78, p < 0.01, SEE = 5.5\%$ ).

$\text{VO}_{2\text{maks}}$  uttrykt som  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  viste også en sterk korrelasjon med prestasjon i testløpet ( $r = -0.74, p < 0.01, SEE = 6.77\%$ ). Denne uttrykksmåten hadde henholdsvis 1.2 % og 2.5 % mindre *SEE* enn når  $\text{VO}_{2\text{maks}}$  ble uttrykt som  $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$  og  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-0.67} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### Relasjonen mellom $\text{VO}_{2\text{maks}}$ og prestasjon

$\text{VO}_{2\text{maks}}$  uttrykt som  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-0.67} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $r = -0.40, p < 0.05$ ),  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $r = -0.74, p < 0.01$ ) og  $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $r = -0.61, p < 0.01$ ) viste alle en signifikant sammenheng med prestasjon i den foreliggende studien. Disse funnene samsvarer med flere studier som har vist at  $\text{VO}_{2\text{maks}}$  er en svært bestemmende faktor for prestasjon i langrenn, både på distanse og i sprint (Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Mygind et al., 1991; Ingjer, 1991; Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Mahood et al., 2001; Vesterinen et al., 2009; Alsobrook & Heil, 2009; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011a; 2011b; Losnegaard et al., 2012; 2013). Funnene samsvarer også med studier gjort på idretter som er sammenlignbare med langrenn, med tanke på varighet og intensitet. Både i sykling (Bentley et al., 2001; Støren et al., 2013) og i løping (Butts et al., 1991; Paavolainen et al., 2000; Støren et al., 2008; 2011; 2012; Støa et al., 2010) er det funnet signifikante sammenhenger mellom  $\text{VO}_{2\text{maks}}$  og prestasjon. Pate & Kriska (1984), Bassett & Howley (2000) og di Prampero (2003) tillegger også  $\text{VO}_{2\text{maks}}$  stor betydning for prestasjon i utholdenhetsidretter. Dette tilsier at det er bred enighet om at  $\text{VO}_{2\text{maks}}$  er av meget avgjørende betydning for langrennsprestasjon, noe også den foreliggende studien støtter.



Det at  $VO_{2maks}$  er avgjørende for langrennsprestasjonen, samt andre utholdenhetsprestasjoner, er ingen overraskelse. For at en langrennsløper skal opprettholde relativt høy intensitet over en lengre periode, er det essensielt å transportere en stor mengde  $O_2$  til de arbeidende musklene (Rusko, 2003). En langrennskonnurranse, riktignok i distanselangrenn, varer omtrent 10 – 120 minutter (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Prestasjonstesten i den foreliggende studien kan derfor karakteriseres som distanselangrenn, siden gjennomsnittstiden utøverne brukte var 13.6 minutter. I studier av aerobt og anaerobt energibidrag under maksimalt arbeid, er det funnet at allerede ved 1 minutt maksimalt arbeid er fordelingen mellom aerobt og anaerobt energibidrag 50/50 (Medbø & Tabata, 1989). I distanselangrenn har man sett at den aerobe energiomsetningen bidrar med 80 – 99 % av den totale energien som kreves (Rusko, 2003). Selv ved kortere sprintkonkurranser (2 – 3 min) har man sett at det aerobe energibidraget kan være så høyt som 70 % (Losnegaard et al., 2012).

Siden  $VO_{2maks}$  er et direkte mål på størrelsen og hastigheten på den aerobe energiomsetningen, vil det tilsi at  $VO_{2maks}$  er avgjørende i utholdenhetsidretter, som langrenn, siden den aerobe energibidraget er så dominerende (Bassett & Howley, 2000; Rusko, 2003). I tillegg er tilstedeværelsen av  $O_2$  i muskelcellene avgjørende for hvor mye ATP som kan produseres gjennom den aerobe energiomsetningen. Dette gjør transporten- og utnyttelsen av  $O_2$  fra lunger til- og i muskelcellene avgjørende for prestasjon (McArdle et al., 2010). Disse delene kan også beskrives som supply og demand, og er avgjørende for hvor stor  $VO_{2maks}$  den enkelte utøver har (Wagner, 2000). Dette betyr at desto mer  $O_2$  som fraktes til og forbrukes i muskelcellen, desto mer energi kan produseres aerobt. Utøveren kan derfor, i større grad, opprettholde en høy hastighet på aerob energiomsetning lengre (McArdle et al., 2010).

Funnene i den foreliggende studien står derimot i kontrast til funnene i studien til Rundell & Bacharach (1995), hvor det ikke ble funnet signifikante sammenhenger mellom  $VO_{2maks}$  ved løping og langrennsprestasjon blant mannlige skiskyttere. Blant kvinnelige skiskyttere ble det derimot funnet signifikante sammenhenger i samme studie. Rundell & Bacharach (1995) konkluderer med at det mannlige utvalget utgjorde en for homogen gruppe for å oppnå signifikante sammenhenger, mens det kvinnelige utvalget var mer heterogene. Problemet med et for homogent utvalg, for å skille ut visse variablers betydning for prestasjon, er også observert i andre studier, i andre idretter (Conley & Krahenbuhl, 1980; Hagberg & Coyle, 1983). Utvalget i den foreliggende studien kan også sies å være relativt homogent, med tanke på at alle utøverne er innenfor en liten aldersgruppe (16 – 20 år) og at alle er aktive langrennsløpere (variasjonskoeffisient = 9.9 % for prestasjon i testløpet). Dette vises spesielt

ved at ingen signifikante sammenhenger mellom  $VO_{2maks}$  og prestasjon ble påvist når vi så på jenter og gutter hver for seg. Innenfor kjønnene kan et homogent utvalg være grunnen til at den foreliggende studien ikke viste signifikante sammenhenger mellom  $VO_{2maks}$  og langrennsprestasjon. Blant  $VO_{2maks}$  – verdiene var variasjonskoeffisienten blant guttene/jentene henholdsvis 6.1/7.5 % ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), 10.2/7.4 % ( $L \cdot min^{-1}$ ) og 9.9/5.3 % ( $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$ ). Når utøverne ble samlet var derimot variasjonskoeffisienten høyere, henholdsvis 10.6 %, 15.5 % og 11.0 %.

Den uttrykksmåten av  $VO_{2maks}$  som korrelerte best med prestasjon i den foreliggende studien var  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  ( $r = -0,74, p < 0.01$ ). Den forklarte, i seg selv, 55 % av prestasjonen til utøverne i den foreliggende studien. Når  $VO_{2maks}$  ble uttrykt som  $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  gav det den svakeste korrelasjonen av de tre variantene å uttrykke  $VO_{2maks}$  på ( $r = -0.40, p < 0.05$ ). Det har tidligere blitt anbefalt av Åstrand et al. (2003) å uttrykke  $VO_{2maks}$  i  $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$ , i tillegg til  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  og  $L \cdot min^{-1}$ . Dette er anbefalt fordi studier har vist at  $VO_{2maks}$  uttrykt som  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  underestimeres i forhold til tyngre utøvere, og overestimerer lettere utøvere, i forhold til prestasjon (Chamari et al., 2005; Hoff et al., 2005).

For langrenn har både Ingjer (1991), Bergh (1987) og Bergh & Forsberg (1992) konkludert med at den beste måten å uttrykke  $VO_{2maks}$  på, for å predikere langrennsprestasjon, er  $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$ . Likevel er ikke resultatene fra disse studiene entydige. Ingjer (1991) konkluderer med at  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  predikerer prestasjon best, både hos mannlige og kvinnelige langrennsløpere. Når man studerer resultatene fra Ingjer (1991), viser det seg at  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  er den beste uttrykksmåten i forhold til å predikere prestasjon til mannlige utøvere. Blant kvinnelige utøvere i den studien, er ikke resultatene like tydelige. Både  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  og  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  predikerte prestasjon tilnærmet like bra i vintersesongen. I sommerhalvåret viste det seg at  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  predikerte prestasjon bedre enn  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-0.67} \cdot min^{-1}$  (Ingjer, 1991). I studien til Larsson et al. (2002) viste  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  seg å være den uttrykksmåten som predikerte prestasjon best blant kvinner, mens  $VO_{2maks}$   $L \cdot min^{-1}$  predikerte prestasjon best blant menn. Larsson et al. (2002) konkluderte derfor med at  $VO_{2maks}$   $L \cdot min^{-1}$  var best for å predikere prestasjon blant menn, mens det var mer uklart hvilken uttrykksmåte som predikerte prestasjon best blant kvinner.

I den foreliggende studien ble det ikke observert signifikante sammenhenger mellom  $VO_{2maks}$  og prestasjon, uansett hvilken uttrykksmåte som ble brukt, for menn og kvinner separat. Bare

når hele utvalget var samlet ble det observert signifikante sammenhenger. Dette kan være fordi utvalgene for menn og kvinner i den foreliggende studien var for små til å avdekke signifikante sammenhenger. Samtidig er det viktig å huske på at den foreliggende studien og Larsson et al. (2002) ble gjort på yngre langrennsløpere, mens utøverne i studien til Ingjer (1991) ble gjort på eliteløpere fra 20 – 32 år. I tillegg var utvalget i Bergh (1987) og Ingjer (1991) større enn utvalget i den foreliggende studien og Larsson et al. (2002). Dette kan være faktorer som har påvirket resultatene, slik at  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  viser en større korrelasjon med prestasjon.

Dessuten viste kroppsvekt ingen signifikant sammenheng med prestasjon i den foreliggende studien. Siden  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  var den måten å uttrykke  $VO_{2maks}$  på som korrelerte best med prestasjon, skulle det tilsi at de letteste utøverne hadde en fordel (Bergh et al., 1991). Dette ble ikke påvist i den foreliggende studien. Derfor kan vi ikke komme frem til noen god forklaring på hvorfor  $VO_{2maks}$   $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  korrelerte best med prestasjon i den foreliggende studien.

## **Relasjonen mellom maksimal styrke og prestasjon**

Blant de maksimale og eksplosive styrkevariablene i den foreliggende studien, var det kun 1RM nedtrekk som viste signifikant sammenheng med prestasjon ( $r = -0.67$ ,  $p < 0.01$ ). Når resultatet fra 1RM nedtrekk ble dividert på utøverens totale kroppsvekt, utgjorde dette den enkeltvariabelen som korrelerte sterkest med prestasjon ( $r = -0.78$ ,  $p < 0.01$ ). Det er for så vidt ingen overraskelse at overkroppsmuskulatur, som inngår i stakbevegelsen, viser en sammenheng med prestasjon, siden mye av fremdriften i langrenn påvirkes av kreftene som utvikles gjennom stavene (Rusko, 2003). Det interessante er at det var denne enkeltvariabelen som korrelerte best med prestasjon blant alle testvariablene. Pierce et al. (1987) og Millet et al. (1998) observert at kraftutviklingen i overkroppsmuskulatur er større i fristil, enn i klassisk diagonalgang. I den foreliggende studien ble det brukt fristil i prestasjonstesten, og derfor kan dette være en av grunnene til at 1RM nedtrekk viser så sterk korrelasjon med prestasjon.

Tidligere forskning har også observert at power output i overkroppen i langrenn korrelerer med langrennsprestasjon (Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Gaskill et al., 1999; Nesser et al., 2004; Alsobrook & Heil, 2009; Carlsson et al., 2013). Siden mengden power

som kan utvikles i stor grad bestemmes av muskelens maksimale styrke, kan det gi en indikasjon på hvorfor maksimal styrke i stakemuskulatur viser en sterk sammenheng med prestasjon i den foreliggende studien (Raastad et al., 2010).

Den signifikante korrelasjonen mellom 1RM nedtrekk og langrennsprestasjon i den foreliggende studien står derimot i kontrast til funnene i Bishop et al. (1999), Støren et al. (2008; 2013) og Sunde et al. (2010). Disse studiene observerte ingen signifikant sammenheng mellom maksimal styrke *per se* og prestasjon i sykling (Bishop et al., 1999; Sunde et al., 2010; Støren et al., 2013) og i løping (Støren et al., 2008).

Aagaard et al. (2011) fant derimot at økt maksimal styrke *per se* også forbedret prestasjon på en 45 minutters TT på sykkel. I den foreliggende studien ble det derimot ikke testet om den maksimale styrken hadde økt, men likevel viste maksimal styrke i nedtrekk en signifikant sammenheng med prestasjon. En mulig forklaring kan være at utøverne, i den daglige treningen, har trent nedtrekk som en del av styrketreningen. Siden økt maksimal styrke kan påvirke prestasjon, som studien til Aagaard et al. (2011) viser, kan eventuell trening av nedtrekk ha ført til en forbedring av prestasjon. Siden vi ikke har undersøkt hvordan utøverne i den foreliggende studien har trent i forkant av studien, kan vi ikke konkludere med at dette kan være årsaken. Losnegaard et al. (2011) fant derimot signifikante sammenhenger mellom 1RM nedtrekk og prestasjon i en 1.1 km stakesprint ( $r = -0.81$ ) og en 1.3 km fristilsprint ( $r = -0.81$ ) på rulleski på baseline-verdier. Dette samsvarer derfor bedre med funnene i den foreliggende studien.

En annen mulighet kan være at de raskeste utøverne i prestasjonstesten i den foreliggende studien, også har et naturlig anlegg for å prestere bra i 1RM nedtrekk. Slik kan resultatet ha gitt et feil bilde av virkeligheten, og at det i realiteten ikke er noen sammenheng mellom 1RM nedtrekk og langrennsprestasjon. Dette er et problem som kan oppstå, siden den foreliggende studien er en tverrsnittsstudie. Tatt i betraktning av det relativt store antallet utøvere som er testet i den foreliggende studien ( $n = 32$  (27)), vil det likevel være lite sannsynlig at dette er tilfelle.

Studiene til Støren et al. (2008) og Sunde et al. (2010) fant riktignok ingen signifikante sammenhenger mellom maksimal styrke *per se* og prestasjon. Likevel observerte de at økt maksimal styrke forbedret prestasjon, gjennom en forbedret arbeidsøkonomi. Disse funnene støttes også av flere studier, hvor økt maksimal- eller eksplosiv styrke forbedrer

arbeidsøkonomien, og derfor forbedrer prestasjon (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002; Hoff & Helgerud, 2004).

Årsakene til at økt maksimal styrke kan forbedre arbeidsøkonomi har blitt forklart ved å være en reduksjon i relativ belastning, forbedret RFD og en forbedret blodsirkulasjon gjennom muskelen, som skyldes lenger avslapningstid i hver bevegelsesyklus (Hoff et al., 1999; 2002; Paavolainen et al., 1999 Østerås et al., 2002; Sunde et al., 2010). Det kan derfor tenkes at de sterkeste utøverne i den foreliggende studien, også kunne opprettholde den samme relative belastningen som svakere utøvere over lengre tid, noe som derfor kunne resultere i at de kunne holde større hastighet gjennom hele løpet (Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002).

Bergh (1982) og Østerås et al. (2002) observerte at kraftutviklingen i armer og bein i langrenn gjennomsnittlig varierer fra 10 – 25 % av 1RM pr. bevegelsesyklus. En sterkere langrennsløper kan klare å utvikle mer kraft ved den samme relative belastningen som svakere utøvere, uten at det forbrukes mer energi. La oss se på et eksempel: Langrennsløper A presterer 80 kg i 1RM nedtrekk, mens langrennsløper B løfter 100 kg i 1RM nedtrekk. Begge løperne har en kraftutvikling gjennom stavene på 20 % av 1RM under en konkurranse. Det betyr at utøver A utvikler en kraft tilsvarende 16 kg i hvert stavgrep, mens utøver B utvikler en kraft tilsvarende 20 kg i hvert stavgrep på samme intensitet. Dette betyr at utøver B skaper mer fremdrift i hvert stavgrep enn utøver A, og kan holde en høyere hastighet gjennom hele løpet på samme intensitet (Østerås et al., 2002). Samtidig kan de sterkere utøverne, ha en større RFD og en bedre blodgjennomstrømning i arbeidende muskler. Dette betyr at utøverne kan gjennomføre bevegelsesyklusens kontraksjonsfase raskere, men med like høy kraftutvikling. Dette kan igjen gjøre at avslapningstiden mellom kontraksjonene blir lengre, og føre til bedre blodgjennomstrømning i arbeidende muskler (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; Østerås et al., 2002; Sunde et al., 2010). Det kan derfor spekuleres i om de sterkere utøverne i den foreliggende studien, hadde en bedre arbeidsøkonomi enn de svakere utøverne. Dette kan derfor igjen ha påvirket prestasjonen slik at de sterkeste løperne gikk fortest. Siden ikke arbeidsøkonomien er testet i den foreliggende studien, blir dette bare spekulasjoner, men dette kan forklare hvorfor 1RM nedtrekk viser en signifikant sammenheng med prestasjon.

Verken 1RM eller maksimal power i knebøy viste noen signifikant sammenheng med prestasjon. Dette står i samsvar med sykkelstudiene til Bishop et al. (1999) og Støren et al. (2013), hvor ingen signifikante sammenhenger mellom 1RM eller maksimal power i knebøy og prestasjon ble funnet. I studien til Losnegaard et al. (2011) ble det derimot observert en

signifikant sammenheng mellom 1RM knebøy og en 1.3 km fristilssprint i langrenn. Det kan derimot diskuteres om kraftutviklingen i beina har større betydning i et kortere løp som sprint, i forhold til et distanseløp, som ble brukt i den foreliggende studien. Siden hastigheten som oftest er høyere i sprint, må kraften være høyere i hver kontraksjon for å opprettholde denne hastigheten (Rusko, 2003). Dette kan forklare hvorfor Losnegaard et al. (2011) fant en signifikant sammenheng mellom 1RM knebøy og prestasjon, mens den foreliggende studien ikke viste det. Samtidig forklarer ikke dette arbeidsøkonomiaspektet diskutert i forhold til 1RM nedtrekk. Det kan derfor være mer trolig at homogenitet blant utøverne forårsaker at det ikke ble funnet signifikante sammenhenger mellom 1RM knebøy eller maksimal power og prestasjon i den foreliggende studien. Derimot var variasjonskoeffisienten relativt høy (22.1% for 1RM knebøy og 21.9% for maksimal power), slik at dette sannsynligvis ikke var tilfelle.

Det kan også diskuteres om utøverne i den foreliggende studien fikk tatt ut maksimalt i knebøyttestene. Dette fordi spenst viste en signifikant sammenheng med prestasjon i den foreliggende studien, og spenst og maksimal styrke i knebøy har vist seg i tidligere studier å være tett knyttet sammen (Wisløff et al., 2004; Rønnestad et al., 2008). Flere av utøverne var ukjent med knebøy-øvelsen, og fikk ingen tilvenningsøkter til bevegelsen før den foreliggende studien startet, som gjort i Losnegaard et al. (2011). Dermed kan det ha oppstått et feil bilde av virkeligheten, siden utøverne ikke klarte å prestere deres fulle potensial i 1RM knebøy på grunn av lite erfaring med øvelsen. I fremtidige studier anbefales det derfor å sikre at utøverne har erfaring med knebøy, i form av tilvenningsøkter, eller velge andre øvelser som ikke stiller like store krav til teknikk for å teste maksimal styrke i beinmuskulatur.

## **Relasjonen mellom spenstvariabler og prestasjon**

Et annet interessant funn i den foreliggende studien var hvor viktig spenstvariabler viste seg å være for prestasjon i langrenn. SJ viste seg som den tredje mest bestemmende enkeltfaktoren for prestasjon i testløpet ( $r = -0.62$ ,  $p < 0.01$ ). CMJas ( $r = -0.58$ ,  $p < 0.01$ ) og CMJ ( $r = -0.45$ ,  $p < 0.05$ ) viste også henholdsvis middels sterke og svake korrelasjoner med prestasjon i den foreliggende studien. Disse resultatene samsvarer med studiene til Stöggl et al. (2011; 2015), hvor SJ og CMJ viste en signifikant sammenheng med prestasjon i langrenn. Derimot er det verdt å nevne at i studiene til Stöggl et al. (2011; 2015) ble det bare funnet signifikante sammenhenger mellom spenst og prestasjon blant menn. Blant kvinner ble disse sammenhengene ikke observert. I den foreliggende studien ble sammenhengen mellom spenst

og prestasjon bare observert for hele utvalget, ikke for menn og kvinner separat. I Stöggl et al. (2011) var i tillegg sammenhengen mellom SJ og langrennsprestasjon sterkest i fristil. Dette samsvarer godt med resultatene fra den foreliggende studien, siden testløpet ble gjennomført i fristil.

Resultatene fra den foreliggende studien og Stöggl et al. (2011; 2015) indikerer at spenst kan ha en påvirkning på langrennsprestasjon. Grunnen til dette kan være at muskulaturen i beina jobber eksplosivt i fraspark og skyv, på samme måte som i et spensthopp, for å opprettholde høy hastighet (Rusko, 2003; Stöggl et al., 2011; 2015). Stöggl et al. (2011) observerte at gjennomsnittlig kontakttid mellom ski og underlaget i dobbeldans (fristil) var 0.31 s, sammenlignet med 0.23 s i diagonalgang ved maksimal hastighet. Denne kontakttiden er sammenlignbar med kontakttiden i et vanlig hopp (Stöggl et al., 2015). Samtidig jobber beinmuskulaturen på lik måte både i SJ, CMJ, CMJas, fraspark i diagonalgang og fraskyv i fristil. Forskjellen mellom disse og skyvet i dobbeldans (fristil) er at beina jobber litt mer i lateralplanet, i motsetning til diagonalgang hvor beina jobber litt mer i sagittalplanet. Samtidig er likhetene så store, at muskelarbeidet i et hopp kan overføres til skyvet i fristil (Stöggl et al., 2015). På denne måten kan det diskuteres om spenst, og det å utvikle så stor kraft som mulig på kortest mulig tid, gir lengre avslapningstid i hver bevegelsesyklus, og dermed bedre arbeidsøkonomi. Dette kan i neste omgang påvirke prestasjon i langrenn (Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002).

Siden den foreliggende studien er en tverrsnittsstudie, kan også den signifikante sammenhengen mellom spenstvariablene og prestasjon skyldes andre faktorer. Det kan være at de som er de raskeste langrennsløperne, også har naturlig god spenst uten at det i virkeligheten påvirker langrennsprestasjon nevneverdig. Svaret på dette kunne vært å gjennomføre en intervensjonsstudie for bedring av spenst, for så å se om dette forbedret langrennsprestasjon, som gjort i Losnegaard et al. (2011). Hvis man fant bedret langrennsprestasjon etter trening som forbedret spensten, så ville dette, sammen med resultatene fra tverrsnittsstudiene, gi en sterk pekepinn mot at spenst påvirker langrennsprestasjonen. I arbeidet med denne avhandlingen er det derimot ikke funnet studier som har sett på korrelasjoner mellom endring av spenst og prestasjon i langrenn.

Ettbeinshopp-testen ble utviklet av studenter og veiledere for bruk i den foreliggende studien, og har aldri blitt prøvd ut i tidligere studier som vi vet om. Derfor er det interessant at denne variabelen viste en middels sterk signifikant sammenheng med prestasjon ( $r = -0.52$ ,  $p <$

0.01). Denne variabelen er også en av variablene som blir brukt i prestasjonsformelen, men alene forklarte den bare 27 % av prestasjonen.

Årsaken til at denne variabelen viste en signifikant sammenheng med prestasjon, kan være mange siden denne testen inneholder flere variabler som kan ha påvirkning på langrennsprestasjon. Blant annet kan testen si noe om utøvernes balanse og tyngdeoverføring. Hoppene i denne testen skulle simulere beinbruk i fristilsteknikkene, ved at utøverne hoppet fra bein til bein. På denne måten måtte de flytte tyngden fra bein til bein, og være i god balanse for å få et høyere hopp. God balanse og tyngdeoverføring er sentrale prinsipper i all langrennsteknikk, og avgjørende for å få kraften til å gå i riktig retning. Ved å klare å flytte tyngden godt over den skien man skyver ifra med, og stå godt på den skien, vil utøveren klare å produsere mer kraft med riktigere retning mot underlaget. Kroppsvekten til utøveren vil igjen tjene som «gratis» kraft mot underlaget, og ved å flytte tyngden godt over skien man står på vil man i tillegg nyttiggjøre seg av denne kraften. Hvis en langrennsløper ikke har god tyngdeoverføring vil utøveren være nødt til å skyve fra hardere for å oppnå samme hastighet, som en utøver med bedre balanse og tyngdeoverføring, som igjen kan føre til tidligere tretthet. God tyngdeoverføring og balanse kan derfor resultere i større fremdrift og høyere hastighet, ved at utøveren utvikler mer kraft i riktig retning (Rusko, 2003). Ettbeinshopp-testen simulerer dette ved at utøveren hopper fra bein til bein. Uten at utøveren har god tyngdeoverføring og balanse, klarer ikke utøveren å hoppe like høyt. Dette er derfor direkte overførbart til langrennsteknikk, som diskutert ovenfor (Rusko, 2003). På denne måten kan denne testen simulere tekniske momenter i fristil, og dette kan være årsaken til at denne variabelen viser en signifikant sammenheng med prestasjon.

I tillegg kan denne testen fortelle oss noe om utøvernes spesifikke spenst og maksimale styrke i beinmuskulatur. Bevegelsen er meget lik muskelarbeidet i SJ, CMJ og CMJas, bortsett fra at den settes inn i et mer langrennsspesifikt bevegelsesmønster. Siden de andre spenstvariablene viste en signifikant sammenheng med prestasjon, er det ikke overraskende at en mer spesifikk muskelbruk viser en signifikant sammenheng med prestasjon. I tillegg har spensthopp vist en nær sammenheng med maksimal styrke i knebøy, som viser at testen også kan fortelle oss om utøvernes maksimale styrke i beinmuskulatur (Wisløff et al., 2004; Rønnestad et al., 2008).

Siden den gjennomsnittlige tiden det tok for utøverne å gjennomføre denne testen var 51.4 s ( $\pm 14$  sekunder), kan testen gi et lite bilde av utøvernes anaerobe utholdenhetskapasitet. Ved 1 minutt maksimalt arbeid er fordelingen mellom aerobt og anaerobt energibidrag omtrent



50/50 (Medbø & Tabata, 1989). Dette betyr at denne testen fordrer det anaerobe energiomsetningssystemet (Gastin, 2001). Likevel har nok ikke den anaerobe utholdenheten påvirket prestasjon i nevneverdig grad. Nedgang i hoppøyde under ettbeinshopp-testen kunne gi et lite bilde av utøvernes anaerobe kapasitet, og viste seg å ikke være signifikant korrelert med prestasjon i den foreliggende studien. I studien til Støren et al. (2013) ble en derimot en ren anaerob utholdenhetstest gjennomført (Wingate test). Den anaerobe utholdenheten viste seg derimot å ha svært lite å si i en 15 km laboratorie-TT på sykkel. Forskjellen mellom en prestasjonsformel som inneholdt den anaerobe utholdenheten, og en ren aerob formel var 1 % (Støren et al., 2013). Likevel var tidsbruken i prestasjonstesten i den foreliggende studien kortere enn i Støren et al. (2013). Dette kan gjøre at det anaerobe energibidraget har vært litt høyere i den foreliggende studien (Gastin, 2001). Dessuten gir terrenget i en langrennskonkurranse mulighet til å arbeide mer intensivt, og med et større anaerob bidrag i oppoverbakkene, siden utøverne kan hente seg inn igjen i nedoverbakkene (Rusko, 2003). Derfor kan vi ikke utelukke at anaerob utholdenhet også spiller en rolle for prestasjon i den foreliggende studien. Undersøkelser rundt anaerob utholdenhet burde derfor tas med i fremtidige studier, siden det finnes svært lite forskning på viktigheten av den anaerobe utholdenheten i distanselangrenn som vi vet om.

## **Er betydningen av styrke- og spenstvariablene kun et uttrykk for naturlige kjønnsforskjeller?**

I den foreliggende studien viste både 1RM nedtrekk og spenst en signifikant korrelasjon med langrennsprestasjon. Årsakene til dette kan være flere, og er diskutert ovenfor. Bedre arbeidsøkonomi, naturlig anlegg og metodiske årsaker er trukket frem som mulige grunner til disse observasjonene. Samtidig kan det diskuteres om betydningen av styrke- og spenstvariablene i den foreliggende studien kun er et uttrykk for naturlige kjønnsforskjeller. Siden menn generelt har høyere maksimal styrke, høyere testosteronnivåer, mindre fettmasse og mer fettfri masse enn kvinner (McArdle et al., 2010), og generelt går raskere på ski (Rusko, 2003), kan resultatene muligens være et uttrykk for at menn er sterkere enn kvinner, og derfor går fortere på ski.

Siden de signifikante sammenhengene kun er observert når hele utvalget er samlet, og ikke observert når menn og kvinner er fordelt hver for seg, kan det gi en indikasjon på at dette har

påvirket resultatet. Samtidig kan dette også skyldes at utvalget for jenter og gutter hver for seg, var for lite til å avdekke signifikante sammenhenger mellom variablene og prestasjon. Når kjønnene ble fordelt hver for seg, utgjorde de også en relativt homogen gruppe, som kan være grunnen til at ingen signifikante sammenhenger ble observert. Det totale utvalget viste ikke samme grad av homogenitet, men det kan skyldes de fysiske forskjellene mellom menn og kvinner. Den nødvendige heterogeniteten kan derfor skyldes at menn generelt er sterkere, og presterer bedre i 1RM nedtrekk og spensttestene, samtidig som de også går raskere på ski.

Dessuten har Stöggl et al. (2011) funnet en signifikant sammenheng mellom spenst og langrennsprestasjon med et utvalg bestående av bare menn. Signifikante sammenhenger mellom spenst og langrennsprestasjon ble også bare funnet blant menn i studien til Stöggl et al. (2015), og ikke blant kvinner. I forhold til styrkevariablene fant Aagaard et al. (2011) en signifikant sammenheng mellom 1RM knebøy og sykkelprestasjon hos mannlige syklister. Dette kan indikere, tatt i betraktning den fysiske forskjellen mellom kvinner og menn, at spenst- og styrkevariablene har en reell sammenheng med langrennsprestasjon. Samtidig er det viktig å være klar over at dette kan ha påvirket resultatene i den foreliggende studien, og fremtidige studier bør undersøke disse variablene i større utvalg av bare kvinner eller menn.

## **Relasjonen mellom antropometriske variabler og prestasjon**

Verken kroppsvekt eller BMI viste signifikante korrelasjoner med prestasjon i den foreliggende studien. Dette var ingen overraskelse, siden flere studier har vist at langrennsløperes kroppsvekt ikke viser noen sammenheng med prestasjon (Larsson et al., 2002; Andersson et al., 2010; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011b). Tilsvarende funn er også gjort i sykling (Støren et al., 2013). Bergh (1987) viste også at gode langrennsløpere kan variere svært mye i kroppsvekt, noe som også støtter funnene i den foreliggende studien. Siden langrenn er en vektbærende idrett, skulle det tilsi at utøvere med en lettere kroppsvekt ville hatt en fordel (Bergh et al., 1991). Bergh & Forsberg (1992) diskuterer om langrennsløpere med en høyere kroppsvekt, kan balansere dette ved å bedre forutsetningene ved smøring, utstyr og fysisk form (Berg & Forsberg, 1992). I og med at alle brukte samme type hjul og lager på rulleskiene i den foreliggende studien vil ikke utstyr eller smøring ha gitt utslag av betydning på prestasjon. Samtidig varierer terrenget mye i en langrennskurrans, og utøvere med en høyere kroppsvekt kan ha en større fordel i enkelte terrengetyper. En tyngre langrennsløper vil ha en bakdel i brattere motbakker, mens denne utøveren igjen har en fordel

i nedoverbakker (Bergh & Forsberg, 1992). Bergh (1987) og Bergh & Forsberg (1992) konkluderer følgelig med at tyngre langrennsløpere tilsynelatende bør ha en større fordel i alle partier av en langrennsløype i forhold til lettere utøvere, bortsett fra i bratte motbakker. En mulig forklaring på at kroppsvekt og BMI ikke viser noen signifikant sammenheng med prestasjon i den foreliggende studien, kan være at terreng i testløpet varierte mye. Løypen inneholdt flere motbakker og nedoverbakker, samt flate partier. Derfor kan fordelene og ulempene i forhold til hvilken kroppsvekt hver utøver har, ha utlignet seg gjennom konkurransen, og derfor gjort at kroppsvekten ikke har påvirket prestasjon i særlig grad.

Det ble observert en svak signifikant sammenheng mellom kroppshøyde og langrennsprestasjon i den foreliggende studien ( $r = -0.40$ ,  $p < 0.05$ ). Sterkere korrelasjoner mellom høyde og prestasjon ble funnet i Stöggl et al. (2015) blant unge gutter, og sterkest i fristil. Dette samsvarer med funnene i den foreliggende studien, siden det også her ble brukt fristil i prestasjonstesten.

Utøverne som ble undersøkt i studien til Stöggl et al. (2015) varierte fra 12 til 14 år, som ikke er langt ifra den aldersgruppen som utøverne i den foreliggende studien befant seg i (16 – 20). En viktig forskjell kan være at utøverne i Stöggl et al. (2015) var i starten- mens utøverne i den foreliggende studien var i slutten av pubertetsårene. Dette kan ha betydning for den sterkere korrelasjonen i Stöggl et al. (2015), da de også fant at pubertetsslutt var den sterkeste antropometriske faktoren for å predikere prestasjon blant guttene. Dette betyr derfor at vekst og modning kan ha spilt en større faktor i studien til Stöggl et al. (2015), og gjort at høyde viste en sterkere signifikant sammenheng med prestasjon. Den samme studien observerte også signifikante sammenhenger mellom kroppsvekt og prestasjon blant gutter (Stöggl et al., 2015). Signifikante sammenhenger mellom kroppshøyde og langrennsprestasjon er ikke funnet i studier av eldre langrennsløpere (> 20 år) (Larsson et al., 2002; Alsobrook & Heil, 2009; Andersson et al., 2010; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011b). Dette kan indikere at antropometriske faktorer har mer påvirkning på prestasjon når utøverne er yngre og juniorer, og at når veksten og modningen avtar får dette mindre innvirkning på prestasjon.

Samtidig må det nevnes at den signifikante sammenhengen mellom kroppshøyde og prestasjon, som er observert i den foreliggende studien, kan skyldes naturlige kjønnsforskjeller. Siden sammenhengen er sett hos det totale utvalget, kan den naturlige forskjellen i kroppshøyde hos menn og kvinner, ha påvirket resultatet. Menn er gjerne høyere

enn kvinner, og går også raskere på ski, slik at dette kan ha bidratt til den signifikante sammenhengen mellom kroppshøyde og prestasjon (Sandbakk & Tønnessen, 2012).

## Prestasjonsformelen og prestasjon

Kombinasjonen av  $VO_{2maks}$ , maksimal muskelstyrke i overkroppen og ettbeinshopp-testen ble kalkulert ved en prestasjonsformel (Prestasjon (s) =  $VO_{2maks}$  (ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>) · 1RM nedtrekk (kg/kroppsvekt) · ettbeinshopp (snitthøyde i cm)). Denne formelen viste en sterk korrelasjon med langrennsprestasjon ( $r = -0.82$ ,  $p < 0.01$ ). Dette er ikke overraskende siden formelen inkluderer de to enkeltvariablene som hadde den beste korrelasjonen med prestasjon alene,  $VO_{2maks}$  ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup> og maksimal muskelstyrke i 1RM nedtrekk, uttrykt i kg/kroppsvekt. For å sjekke om at variablene i formelen ikke påvirker hverandre, ble det utført en Variation Inflation Factor – test (VIF). Denne testen viste verdier mellom 1.6 og 2.0, og toleranseverdier mellom 0.49 og 0.6. Tilsvarende verdier, henholdsvis 1.04 – 1.4 og 0.714 – 0.961, ble også observert i prestasjonsformelen som ble brukt i Støren et al. (2013), og indikerer svært liten eller ingen kolinearitet mellom de ulike variablene i formelen.

Formelen er basert på tidligere formler fra Pate & Kriska (1984), Bassett & Howley (2000), di Prampero (2003) og Støren et al. (2013), bortsett fra noen ulikheter. I den foreliggende studien var vi spesielt interessert i styrke og spenstvariabler, og inkluderte også disse i formelen. Samtidig var det ikke mulig å teste arbeidsøkonomi, på grunn av praktiske årsaker i den foreliggende studien. Dette er et stort savn ved formelen. Formelen forklarte 67 % av prestasjonen ( $r = -0.82$ ), mens 33 % forklares av andre faktorer. Arbeidsøkonomi forklarer høyst sannsynlig en del av dette. Ved å kunne inkludert arbeidsøkonomi i denne formelen kunne sammenhengen med prestasjon høyst sannsynlig vært sterkere (Pate & Kriska, 1984; Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003; Støren et al., 2013). I studien til Støren et al. (2013) forklarte  $VO_{2maks}$  og arbeidsøkonomi alene 84 % av sykkelprestasjonen. Derfor mangler den foreliggende studien en svært viktig variabel, for å diskutere bestemmende faktorer i langrenn. Teknikkvalg og hvor gode utøverne var på å skifte mellom ulike teknikker i testløpet, kan også være en faktor som forklarer de resterende 33 % av prestasjonen. Andersson et al., (2010) observerte, i denne sammenheng, at de partiene hvor det var naturlig å skifte teknikk, var blant de partiene hvor utøvere tjente eller tapte sekunder på andre. Samtidig kan også riktig teknikkvalg, i forhold til terreng, påvirke hvor arbeidsøkonomisk utøverne klarer å gå gjennom en konkurranse (Hoffman et al., 1990; Kvamme et al., 2005).

Utnyttingsgrad kan også være en faktor som forklarer den resterende prosentandelen av prestasjon i den foreliggende studien. Samtidig konkluderer Støa et al. (2010) at utnyttingsgrad spiller en liten eller ingen rolle for prestasjon når varigheten er under 20 minutter. Prestasjonstesten i den foreliggende studien varte i gjennomsnitt 13.6 minutter. Derfor har utnyttingsgrad høyst sannsynlig ikke hatt en stor betydning for prestasjon i den foreliggende studien (Davies & Thompson, 1979; Støa et al., 2010). I tillegg kan vi ikke utelukke at motivasjonelle og psykiske faktorer også spiller en rolle for prestasjon (Sandbakk & Tønnessen, 2012).

## Metodiske betraktninger

En relativt stor begrensning ved den foreliggende studien er at utøvernes arbeidsøkonomi ikke ble testet. Pate & Kriska (1984) foreslår arbeidsøkonomi som en av de tre viktigste variablene for utholdenhetsprestasjon. Dette støttes også av Bassett & Howley (2000), di Prampero (2003) og Støren et al. (2013). Conley & Krahenbuhl (1980) observerte at 65.4 % av løpsprestasjon blant mannlige eliteløpere, som hadde omtrent lik  $VO_{2maks}$ , ble bestemt av arbeidsøkonomien. Dette viser at arbeidsøkonomi kan være med å skille utøvere som har lik  $VO_{2maks}$ , samt at den har stor påvirkning på prestasjon (Saltin et al., 1995; Foster & Lucia, 2007). I langrenn er forbedringer i arbeidsøkonomi direkte relatert til forbedringer i stakeprestasjon (Hoff et al., 1999; Østerås et al., 2002), og lignende funn er også funnet i sykling og løping (Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010).

Siden flere studier viser at arbeidsøkonomien har stor påvirkning på prestasjon (Conley & Krahenbuhl, 1980; Pate & Kriska, 1984; Saltin et al., 1995; Hoff et al., 1999; Bassett & Howley, 2000; Østerås et al., 2002; di Prampero, 2003; Foster & Lucia, 2007; Støren et al., 2008; 2013; Sunde et al., 2010), mener vi at den foreliggende studien går glipp av en vesentlig side av hva som bestemmer langrennsprestasjon. Dette blir derfor en av studiens største svakheter. Grunnen til at arbeidsøkonomi ikke ble testet var at det ikke var praktisk mulig, siden fristil ble valgt som stilart i prestasjonstesten. Fasilitetene ved Høgskolen i Sørøst – Norge inneholder ingen rullskimølle som det er mulig å skøyte på. Siden arbeidsøkonomi bør testes spesifikt (Bahr et al., 1991), ble det derfor valgt å utelukke arbeidsøkonomien i den foreliggende studien.

En annen begrensning ved den foreliggende studien var at utøverne gjennomførte testbatteriet på ulikt antall dager. En gruppe utøvere gjennomførte testene over 3 dager, noen andre over 2 dager, og noen på 1 dag. Samtidig var rekkefølgen på testene lik for alle utøverne. Alle utøverne startet med  $VO_{2maks}$ -testen, deretter spensttestene og styrketestene og til slutt prestasjonstesten på rulleski. Siden utøverne gjennomførte testene over ulikt antall dager, fikk utøverne ulik mengde hvile mellom de ulike testene. Likevel fikk alle minst 30 minutter hvile mellom  $VO_{2maks}$ -testen og spensttestene, og minst 1 time hvile mellom styrketestene og prestasjonstesten på rulleski. I Støren et al. (2008) ble det observert at 30 minutter hvile etter en  $VO_{2maks}$ -test var tilstrekkelig for at dette ikke påvirket resultatet ved en 1RM test i knebøy. Derfor er det grunnlag for å si at pausene som er lagt inn mellom testene, skal være tilstrekkelige for å unngå at tretthet fra tidligere tester skal påvirke resultatet på andre tester i den foreliggende studien. Grunnen til dette kan være at en  $VO_{2maks}$ -test eller en prestasjonstest over 5.64 km og spenst- og styrketester bruker to forskjellige energisystemer. Ved en  $VO_{2maks}$ -test blir det aerobe energisystemet stresset maksimalt, mens ved spenst- og 1RM tester vil energien hovedsakelig komme fra alaktisk anaerob energifrigjøring, som CrP (McArdle et al., 2010). Samtidig kan vi ikke fullstendig utelukke muligheten for at ulikt antall testdager kan ha påvirket resultatene i den foreliggende studien.

En annen utfordring ved den foreliggende studien er at det ble testet  $VO_{2maks}$  ved løping, siden det ikke lot seg gjøre å teste  $VO_{2maks}$  i fristil. Det er derimot vist at løps- $VO_{2maks}$  kan predikere langrennsprestasjon i stor grad (Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Ingjer, 1991; Mygind et al., 1991; Rundell & Bacharach, 1995; Larsson et al., 2002). Dette samsvarer godt med resultatene fra den foreliggende studien, hvor løps- $VO_{2maks}$  ved alle uttrykksmåter, viste en signifikant sammenheng med prestasjon. Mahood et al. (2001) kritiserer likevel at løps- $VO_{2maks}$  ikke predikerer langrennsprestasjonen like bra som spesifikke  $VO_{2maks}$  – tester på rulleskimølle og stakeergometer. Han argumenterer med at  $VO_{2maks}$ -tester på rulleski inkluderer overkroppsmuskulaturen, som er en viktig bidragsyter i langrenn. Denne variabelen uteblir ved bruk av løps- $VO_{2maks}$ . Dette kan gi en mer presis predikasjon av langrennsprestasjon enn ved bruk av løp i  $VO_{2maks}$ -testen. Disse argumentene støttes av resultater fra andre studier (Rundell, 1995; Bilodeau et al., 1995; Wisløff & Helgerud, 1998; Gaskill et al., 1999; Alsobrook & Heil, 2009). Likevel viste  $VO_{2maks}$  seg som en av de viktigste faktorene for langrennsprestasjon i den foreliggende studien. Grunnen til at  $VO_{2maks}$  ved løping i så stor grad relateres til andre helkroppsaktiviteter som langrenn, kan være at den variabelen som utgjør hovedbegrensningen ved helkroppsarbeid er supply (Bassett & Howley,

2000). Supply er igjen direkte relatert til hjertets slagvolum (Wagner, 2000; McArdle et al., 2010)

Under prestasjonstesten på rulleski i den foreliggende studien fikk utøverne lov til å bruke eget utstyr. Derfor kan vi ikke utelukke at forskjeller i hjulenes rullemotstand og utstyrets vekt har påvirket resultatet i testløpet. Samtidig ble trenerne informert på forhånd om at rulleskiene skulle være satt opp med Swenor 2-hjul, slik at rullemotstanden skulle være så lik som mulig. I tilfeller hvor det var mistanke om at hjulene hadde forskjellig rullemotstand likevel, ble det gjennomført rulletester. Da ble 3 – 5 par, som rullet tilnærmet likt, valgt ut, og utøverne valgte vilkårlig ut det skiparet de ville gå på under testløpet. Dette ble gjort for å forsikre om at utøverne gjennomførte testløpet på like premisser, slik at utstyret ikke skulle påvirke prestasjonen.

Noen få utøvere i den foreliggende studien gjennomførte testløpet på våt asfalt. Dette gjør at hjulene får en større rullemotstand, og påvirker prestasjonen negativt. På bakgrunn av dette ble det gjennomført rulletester på vått og tørt føre. I disse testene ble det kalkulert ut en prosentvis forskjell mellom vått og tørt føre (4 %), og denne ble fratrukket totaltiden for de utøverne som gikk på vått føre. Dette ble gjort for å kunne sammenligne alle utøverne på lik linje, men likevel kan vi ikke utelukke at dette kan ha påvirket prestasjonstiden til disse utøverne.

Det er fordeler og ulemper ved å velge en felttest som prestasjonstest. Siden det ikke var praktisk mulig å gjennomføre en prestasjonstest på rulleskimølle i fristil i laboratoriet, som tilsvarende i sykling i Støren et al. (2013), ble det valgt å gjennomføre en utendørs felttest. Dette kan gi utfordringer med vær og vind, siden utøverne ble testet på forskjellige tidspunkter. Motvind og medvind, regn eller sol, kunne påvirket resultatene fra denne testen, slik at sammenligningsgrunnlaget kunne blitt svakere. Banen som ble brukt ligger derimot inne i skogen, og derfor skjermet fra mye vind. Selv om vi ikke målte vindstyrke, vil dette sannsynligvis ikke ha hatt veldig stor påvirkning på resultatene. Fordelene med å bruke en utendørs prestasjonstest i en asfaltert rulleskiløype, er at prestasjonen blir mer virkelighetsnær. I laboratoriet vil man ikke kunne gjennomføre en prestasjonstest som er lik en reell konkurranse, slik som man kan få til utendørs. Med dette som argumenter ble det valgt å bruke en utendørs prestasjonstest, selv om dette kan være uheldig i enkelte sammenhenger.

## Praktiske implikasjoner

Resultatene fra den foreliggende studien kan være med på å optimalisere treningen for langrennsløpere. Den foreliggende studien, i samsvar med tidligere studier, observerte at  $VO_{2maks}$  (Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Mygind et al., 1991; Ingjer, 1991; Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Mahood et al., 2001; Vesterinen et al., 2009; Alsobrook & Heil, 2009; Mikkola et al., 2010; Sandbakk et al., 2011a; 2011b; Losnegaard et al., 2012; 2013), styrke i stakemuskulatur (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002; Losnegaard et al., 2011) og spenst (Stöggl et al., 2011; 2015) er avgjørende for langrennsprestasjon. Samtidig er det meget viktig å ikke glemme arbeidsøkonomiens betydning for prestasjon, selv om den ikke ble testet i den foreliggende studien (Pate & Kriska, 1984; Hoff et al., 1999; Bassett & Howley, 2000; Østerås et al., 2002; di Prampero, 2003; Støren et al., 2008; 2013; Sunde et al., 2010).

Hvordan burde man trene for å forbedre disse faktorene best mulig? Basert på resultatene fra den foreliggende studien foreslår vi å øke  $VO_{2maks}$  ved å trene aerob høyintensiv intervalltrening. Helgerud et al. (2007) observerte at trening med høy intensitet (90 – 95 % av  $HR_{maks}$ ) var det som påvirket  $VO_{2maks}$  i størst grad. For å forbedre styrke i stakemuskulatur, 1RM i nedtrekk og spenst foreslår vi å trene maksimal styrketrening (Raastad et al., 2010). Siden maksimal styrketrening også har vist seg å forbedre arbeidsøkonomien, foreslår vi at styrketrening inkluderes også for dette formålet (Paavolainen et al., 1999; Hoff et al., 1999; 2002; Østerås et al., 2002; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010). Scrimgeour et al. (1986) observerte at mengde utholdenhetstrening (I1 og I2) også påvirker arbeidsøkonomien i positiv retning, ved at utøveren får mange repetisjoner i samme bevegelse, og på denne måten perfektioniserer og effektiviserer teknikken. Samtidig er det viktig at denne treningen også gjennomføres med riktig teknikk i konkurransehastighet for å forbedre arbeidsøkonomi, derfor bør også mengdetrening på I3 inkluderes for dette formålet (Rusko, 2003). Derfor anbefaler vi også at utøvere trener mengde for å forbedre arbeidsøkonomien.

Siden langrenn blir regnet som en aerob utholdenhetsidrett, og at det er bred enighet om at  $VO_{2maks}$  og arbeidsøkonomien er meget avgjørende for prestasjon i utholdenhetsidrett (Pate & Kriska, 1984; Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003; Støren et al., 2013), anbefaler vi at hovedfokuset bør være aerob utholdenhetstrening. Dette er også det langrennsløpere i dag trener mest av. Opptil 90 – 95 % av det totale treningsvolumet til seniorløpere inneholder utholdenhetstrening (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Denne treningen burde, basert på



resultatene i den foreliggende studien, først og fremst ha som mål å øke  $VO_{2maks}$  og arbeidsøkonomien. Samtidig viser den foreliggende studien at det burde være et fokus på overkroppsstyrke og spenst også i den daglige treningen. Ifølge Sandbakk & Tønnessen (2012) er ca. 5 % av det totale treningsvolumet styrke- og spensttrening hos seniorlangrennsløpere. At styrke- og spensttrening skal utgjøre en større prosentandel, er muligens ikke å foretrekke, siden den aerobe utholdenheten er så viktig i langrenn. Derimot, basert på resultatene fra den foreliggende studien, kan det anbefales at styrketreningen burde inneholde et større fokus på overkroppsstyrke til fordel for styrke i beinmuskulatur. Styrketrening for beinmuskulaturen kan også gjennomføres som spesifikk og eksplosiv styrketrening, i form av spenstlignende øvelser.

## **Veien videre**

Selv om den foreliggende studien har tilført nye og spennende resultater, er det fortsatt mye arbeid igjen før vi får et klart bilde av hva som bestemmer langrennsprestasjon. Resultatene i den foreliggende studien kan ikke uten videre generaliseres ut til en større gruppe langrennsløpere, siden utvalget ikke er stort nok og at studien har flere metodiske svakheter som kan ha påvirket resultatene. Samtidig legger den foreliggende studien frem resultater, som kan være interessante å undersøke videre.

Det trengs flere studier for å bekrefte de resultatene som er observert i den foreliggende studien. Samtidig bør fremtidige studier gjennomføres på både internasjonale eliteutøvere, nasjonale seniorløpere og juniorløpere. Utvalgene i den foreliggende studien for menn og kvinner separat har, høyst sannsynlig, vært for små til å avdekke signifikante sammenhenger mellom prestasjon og de ulike testvariablene. Det hadde vært ønskelig, i den foreliggende studien, og sett på signifikante sammenhenger mellom variabler og prestasjon for kvinner og menn separat, men dette lot seg derfor ikke gjøre. Derfor burde tester som er brukt i den foreliggende studien gjennomføres i større separate grupper av kvinner og menn. På denne måten kan vi få et klarere bilde på hva som bestemmer prestasjon i langrenn, og kanskje få større kunnskap om hva som kan gjøre en god juniorløper til en god senior- og eliteløper. Fremtidige studier burde videreføre de variablene som er testet i den foreliggende studien, samt inkludere arbeidsøkonomi.

Siden den foreliggende studien er en tverrsnittsstudie, sier den ingenting om årsaksforhold. Vi kan ikke kontrollere om de raskeste utøverne i den langrennsspesifikke testen i den foreliggende studien, også har en naturlig god spenst og styrke, og derfor om det er en reell signifikant sammenheng med prestasjon og disse variablene. Derfor bør fremtidig studier også inneholde treningsintervensjoner for å avdekke om forbedringer i  $VO_{2maks}$ , arbeidsøkonomi, 1RM nedtrekk, SJ, balanse og tyngdeoverføring også fører til forbedringer i prestasjon i langrenn. Først da kan vi si mer sikkert hva som bestemmer langrennsprestasjonen.

## Konklusjon

Målet for den foreliggende studien var å undersøke potensielle sammenhenger mellom fysiologiske og antropometriske variabler og en kontrollert prestasjonstest på rulleski blant aktive langrennsløpere. Samtidig er det viktig å nevne at arbeidsøkonomi ikke ble testet i den foreliggende studien, og at tidligere studier har vist at den kan ha en viktig betydning for prestasjon (Pate & Kriska, 1984; Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 2003; Støren et al., 2013). I den foreliggende studien ble det observert sterkest korrelasjon mellom en prestasjonsformel, som representerte  $VO_{2maks}$ , overkroppsstyrke, spesifikk spenst og balanse og tyngdeoverføring og langrennsprestasjon hos juniorutøvere ( $r = -0.82$ ). Derfor var hypotesen vår riktig, om at denne formelen ville vise den sterkeste korrelasjonen med langrennsprestasjon.  $VO_{2maks}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) viste en sterk korrelasjon med prestasjon ( $r = -0.74$ ), og bekrefter dermed betydningen av den aerobe kapasiteten for langrennsprestasjon som tidligere studier også har funnet ((Niinimaa et al., 1978; Bergh, 1987; Mygind et al., 1991; Ingjer, 1991; Rundell, 1995; Rundell & Bacharach, 1995; Mahood et al., 2001; Larsson et al., 2002; Vesterinen et al., 2009; Alsobrook & Heil, 2009; Mikkola et al. 2010; Sandbakk et al., 2011a; 2011b; Losnegaard et al., 2012; 2013). Spenstvariabelen SJ viste også en sterk korrelasjon med langrennsprestasjon i den foreliggende studien ( $r = -0.62$ ). 1RM nedtrekk ( $kg/kroppsvekt$ ) var derimot den enkeltvariabelen som korrelerte best med prestasjon ( $r = -0.78$ ), og aktualiserer betydningen av overkroppsstyrke for langrennsprestasjon. Vår andre hypotese var derfor feil. Dermed kan det konkluderes med at  $VO_{2maks}$ , maksimal styrke i overkropp og SJ viser størst betydning for prestasjon i langrenn i den foreliggende studien.

## Litteratur

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P. & Kjær, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 21 (6): 298 – 307.
- 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.
- Andersen, P. & Henriksson, J. (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J. Physiol*. 270 (3): 677 – 690.
- Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Med*. 22 (2): 76 – 89.
- Andersson, E., Supej, M., Sandbakk, Ø., Sperlich, B., Stöggl, T. & Holmberg, H. C. (2010). Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *Eur. J. Appl. Physiol*. 110 (3): 585 – 595.
- Bahr, R., Hallén, J. & Medbø, J. I. (1991). *Testing av idrettsutøvere*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Bárány, M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol*. 50 (6): 197 – 218.
- Bassett, D. R. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc*. 32 (1): 70 – 84.
- Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol*. 74 (1): 359 – 368.
- Bentley, D. J., McNaughton, L. R., Thompson, D., Vleck, V. E. & Batterham, A. M. (2001). Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc*. 33 (12): 2077 – 2081.
- Bergh, U. (1982). *Physiology of cross-country ski racing*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.
- 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.

- Bergh, U., Sjödin, B., Forsberg, A., Svedenhag, J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23 (2): 205 – 211.
- Bilodeau, B., Roy, B. & Boulay, M. R. (1995). Upper-body testing of cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (11): 1557 – 1562.
- 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.
- Booth, F. W., Ruegsegger, G. N., Toedebusch, R. G. & Yan, Z. (2015). Endurance exercise and the regulation of skeletal muscle metabolism. *Prog. Mol. Biol. Transl. Sci.* 135: 129 – 151.
- Bunc, V. (2000). Energy cost of treadmill running in non-trained females differing in body fat. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 40 (4): 290 – 296.
- Butts, N. K., Henry, B. A. & McLean, D. (1991). Correlations between  $VO_{2max}$  and performance times of recreational triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 31 (3): 339 – 344.
- Campos, G. E. R., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Ragg, K. E., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J. & Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88: 50 – 60.
- Carlsson, T., Carlsson, M., Hammarström, D., Malm, C. & Tonkonogi, M. (2013). Scaling of upper-body power output to predict time-trial roller skiing performance. *J. Sports Sci.* 31 (6): 582 – 588.
- Chamari, K., Moussa-Chamari, I., Boussaïdi, L., Hachana, Y, Kaouech, F. & Wisløff, U. (2005). Appropriate interpretation of aerobic capacity: allometric scaling in adult and young soccer players. *Br. J. Sports Med.* 39 (2), 97 – 101.
- Chang, Y. H. & Kram, R. (1999). Metabolic cost of generating horizontal forces during human running. *J. Appl. Physiol.* 86 (5): 1657 – 1662.
- Conley, D. L. & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12 (5): 357 – 360.
- Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G. & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.* 40 (2): 149 – 154.

- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K. & Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 64 (6): 2622 – 2630.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F. & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (7): 782 – 788.
- Davies, C. T. M. & Thompson, M. W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41 (4): 233 – 245.
- Dempsey, J. A. & Wagner, P. D. (1999). Exercise – induced arterial hypoxemia. *J. Appl. Physiol.* 87 (6): 1997 – 2006.
- di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90: 420 – 429.
- Dubé, J. J., Amati, F., Stefanovic-Racic, M., Toledo, F. G. S., Sauers, S. E. & Goodpaster, B. H. (2008). Exercise-induced alterations in intramyocellular lipids and insulin resistance: the athlete's paradox revisited. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 294 (5): 882 – 888.
- Ekblom, B. & Hermansen, L. (1968). Cardiac output in athletes. *J. Appl. Physiol.* 25 (5): 619 – 625.
- Evertsen, F., Medbø, J. I., Jebens, E. & Gjøvaag, T. F. (1999). Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.* 167 (3): 247 – 257.
- Foss, Ø. & Hallén, J. (2005). Cadence and performance in elite cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 93 (4): 453 – 462.
- Foster, C. & Lucia, A. (2007). Running economy – the forgotten factor in elite performance. *Sports Med.* 37 (4 – 5): 316 – 319.
- Gaskell, S. E., Serfass, R. C. & Rundell, K. W. (1999). Upper body power comparison between groups of cross-country skiers and runners. *Int. J. Sports Med.* 20 (5): 290 – 294.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.* 31 (10): 725 – 741.
- Gjerset, A., Haugen, K. & Holmstad, P. (2006). *Treningslære* (3 utg.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Gollnick, P. D., Armstrong, R. B., Saubert, C. W., Piehl, K. & Saltin, B. (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol.* 33 (3): 312 – 319.

- Hagberg, J. M. & Coyle, E. F. (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15 (4): 287 – 289.
- Harris, R. C., Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjö, L. O., Ny Lind, B. & Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Plügers Arch.* 367 (2): 137 – 142.
- Helgerud, J., Høydal, K. L., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P. R., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C. S., Hjorth, N. L., Bach, R. & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve  $VO_{2max}$  more than moderate training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39 (4): 665 – 671.
- Helgerud, J., Støren, Ø. & Hoff, J. (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? *Eur. J. Appl. Physiol.* 108 (6): 1099 – 1105.
- Hickson, R. C., Rosenkoetter, M. A. & Brown, M. M. (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12 (5): 336 – 339.
- 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. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports Med.* 34 (3): 165 – 180.
- Hoff, J., Helgerud, J. & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 (6): 870 – 877.
- Hoff, J., Kemi, O. J. & Helgerud, J. (2005). Strength and endurance differences between elite and junior elite ice hockey players. The importance of allometric scaling. *Int. J. Sports Med.* 26 (7): 537 – 541.
- Hoff, J., Støren, Ø., Finstad, A., Wang, E. & Helgerud, J. (2016). Increased blood lactate level deteriorates running economy in World class endurance athletes. *J. Strength Cond. Res.* 30(5): 1373 – 1378.
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Foley, P. J. & Brice, G. (1990). Physiological responses to different roller skiing techniques. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22 (3): 391 – 396.
- Hoffman, M. D. & Clifford, P. S. (1992). Physiological aspects of competitive cross-country skiing. *J. Sports Sci.* 10 (1): 3 – 27.

- Holand, A. (2011). *Bevegelsens årsak – elementær innføring i mekanikk og bevegelsesanalyse*. Oslo: Cappelen Damm AS.
- 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.
- Honig, C. R., Connett, R. J. & Gayeski, T. E. (1992). O<sub>2</sub> transport and its interaction with metabolism; a systems view of aerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24 (1): 47 – 53.
- Hunter, I. & Smith, G. A. (2007). Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur. J. Appl. Physiol.* 100 (6): 653 – 661.
- 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: 25 – 30.
- 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.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J. Physiol.* 586 (1): 35 – 44.
- Kraemer, W. J. & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36 (4): 674 – 688.
- Kvamme, B., Jakobsen, V., Hetland, S. & Smith, G. (2005). Ski skating technique and physiological responses across slopes and speeds. *Eur. J. Appl. Physiol.* 95 (2-3): 205 – 212.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P. V. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (8): 1330 – 1337.
- Larsson, P., Olofsson, P., Jakobsson, E., Burlin, L. & Henriksson-Larsén, 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.
- Losnegaard, 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.
- Losnegaard, T., Myklebust, H. & Hallén, J. (2012). Anaerobic capacity as a determinant of performance in sprint skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 44 (4): 673 – 681.

- Losnegaard, T., Myklebust, H., Spencer, M. & Hallén, J. (2013). Seasonal variations in  $VO_{2max}$ ,  $O_2$ -cost,  $O_2$ -deficit, and performance in elite cross-country skiers. *J. Strength Cond. Res.* 27 (7): 1780 – 1790.
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A. F., Santiago, C., Pérez, M., Chamarro-Viña, C. & Foster, C. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 31 (5): 530 – 540.
- Lundby, C. & Jacobs, R. A. (2016). Adaptions of skeletal muscle mitochondria to exercise training. *Exp. Physiol.* 101 (1): 17 – 22.
- 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.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch V. L. (2010) *Exercise physiology*. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Medbø, J. I. & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 67 (5): 1881 – 1886.
- 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.
- 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.
- Mygind, E., Larsson, B. & Klausen, T. (1991). Evaluation of a specific test in cross-country skiing. *J. Sports Sci.* 9 (3): 249 – 257.
- Nesser, T. W., Chen, S., Serfass, R. C. & Gaskill, S. E. (2004). Development of upper body power in junior cross-country skiers. *J. Strength Cond. Res.* 18 (1): 63 – 71.
- Niinimaa, V., Dyon, M. & Shephard, R. J. (1978). Performance and efficiency of intercollegiate cross-country skiers. *Med. Sci. Sports.* 10 (2): 91 – 93.
- 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.* 86 (5): 1527 – 1533.



- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. (2000). Muscle power factors and  $VO_{2max}$  as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 10 (5): 286 – 291.
- Pate, R. R. & Kriska, A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Med.* 1 (2): 87 – 98.
- Pierce, J. C., Pope, M. H., Renstrøm, P., Johnson, R. J., Dufek, J. & Dillman, C. (1987). Force measurement in cross-country skiing. *Int. J. Sport Biomech.* 3: 382 – 391.
- Raastad, T., Paulsen, G., Refsnes, P. E., Rønnestad, B. R. & Wisnes, A. R. (2010). *Styrketrening – i teori og praksis*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Rabadán, M., Díaz, V., Calderón, F. J., Benito, P. J., Peinado, A. B. & Maffulli, N. (2011). Physiological determinants of speciality of elite middle- and long-distance runners. *J. Sports Sci.* 29 (9): 975 – 982.
- Rundell, K. W. (1995). Treadmill roller ski test predicts biathlon roller ski race results of elite U.S. biathlon women. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (12): 1677 – 1685.
- Rundell, K. W. & Bacharach, D. W. (1995). Physiological characteristics and performance of top U.S. biathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 (9): 1302 – 1310.
- Rusko, H. (2003). *Handbook of Sports Medicine and Science – Cross Country Skiing*. Massachusetts, USA: Blackwell Science Inc.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A. & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J. Strength Cond. Res.* 22 (3): 773 – 780.
- Sahlin, K., Harris, R. C. & Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. *Scand. J. clin. Lab. Invest.* 39 (6): 551 – 558.
- Sale, D. G. (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15: 95 – 151.
- Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C. K., Svedenhag, J. & Rolf, C. J. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 5 (4): 209 – 221.
- Saltin, B. & Åstrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23 (3): 353 – 358.

- Sandbakk, Ø. & Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 9 (1): 117 – 121.
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H. C., Leirdal, S. & Ettema, G. (2011b). The physiology of world-class sprint skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 21 (6): 9 – 16.
- Sandbakk, Ø. & Tønnessen, E. (2012). *Den norske langrennsboka*. Oslo: Aschehoug.
- Sandbakk, Ø., Welde, B. & Holmberg, H. C. (2011a). Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers. *J. Strength Con. Res.* 25 (5): 1299 – 1305.
- Scrimgeour, A. G., Noakes, T. D., Adams, B. & Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55 (2): 202 – 209.
- Seiler, S. & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 16 (1): 49 – 56.
- Shephard, R. J. (2000). Determinants of endurance performance. I Shephard, R. J. & Åstrand, P. O. eds. *Endurance in sport*. 2<sup>nd</sup> ed. (21 – 36). Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Stöggl, R., Müller, E. & Stöggl, T. (2015). Motor abilities and anthropometrics in youth cross-country skiing. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 25 (1): e70 – e81.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. (2006). Reliability and validity of test concepts for the cross-country skiing sprint. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38 (3): 586 – 591.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. (2007). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 17 (4): 362 – 372.
- Stöggl, T. L. & Müller, E. (2009). Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41 (7): 1476 – 1487.
- 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.
- Støa, E. M., Støren, Ø., Enoksen, E. & Ingjer, F. (2010). Percent utilization of VO<sub>2</sub>max at 5-km competition velocity does not determine time performance at 5 km among elite distance runners. *J. Strength Cond. Res.* 24 (5): 1340 – 1345.

- Støren, Ø. (2009). *Running and cycling economy in athletes; determining factors, training interventions and testing*. (Doktorgradsavhandling), Medisinsk fakultet, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet – NTNU, Trondheim.
- Støren, Ø., Bratland-Sanda, S., Haave, M & Helgerud, J. (2012). Improved  $VO_{2max}$  and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume: a case study on an elite national cyclist. *J. Strength Cond. Res.* 26 (10): 2705 – 2711.
- Støren, Ø., Helgerud, J. & Hoff, J. (2011). Running stride peak forces inversely determine running economy in elite runners. *J. Strength Cond. Res.* 25 (1): 117 – 123.
- Støren, Ø., 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.
- Støren, Ø., Rønnestad, B. R., Sunde, A., Hansen, J., Ellefsen, S. & Helgerud, J. (2014). A time-saving method to assess power output at lactate threshold in well-trained and elite cyclists. *J. Strength Cond. Res.* 28 (3): 622 – 629.
- Støren, Ø., Ulevåg, K., Larsen, M. H., Støa, E. M. & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *J. Strength Cond. Res.* 27 (9): 2366 – 2373.
- Sunde, A., Støren, Ø., 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.
- Tønnessen, E., Haugen, T. A., Hem, E., Leirsten, S. & Seiler, S. (2015). Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 10 (7): 835 – 839.
- Van Gutsem, 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 (1): 295 – 305.
- Veierød, M. B. & Thelle, D. S. (2013). Tverrsnittsstudier. I Laake, P., Hjartåker, A., Thelle D. S. & Veierød, M. B. (Red.), *Epidemiologiske og kliniske forskningsmetoder* (s. 235 – 258). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- 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.

- Wagner, P. D. (2000). New ideas on limitations to VO<sub>2</sub>max. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 28 (1): 10 – 14.
- Wisløff, U. & Helgerud, J. (1998). Methods for evaluating peak oxygen uptake and anaerobic threshold in upper body of cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (6): 963 – 970.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br. J. Sports Med.* 38 (3): 285 – 288.
- Zoladz, J. A., Semik, D., Zawadowska, B., Majerczak, J., Karasinski, J., Kolodziejski, L., Duda, K. & Kilarski, W. M. (2005). Capillary density and capillary-to-fibre ratio in *vastus lateralis* muscle of untrained and trained men. *Folia Histochem. Cytobiol.* 43 (1): 11 – 17.
- Østerås, 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.
- Åstrand, P. O., Rodahl, K., Dahl, H. A. & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of Work Physiology; Physiological Bases of Exercise*. 4<sup>th</sup> ed. Champaign, IL, USA: Human Kinetics.

## **Vedlegg 1: Informasjonsskriv om studien.**

Lyst til å bidra i et prosjekt om prestasjonsbestemmende faktorer i langrenn?

### **Informasjonsskriv om studien / samtykke om deltakelse i studien**

På Høgskolen i Telemark, avd. Bø har vi et pågående forskningsprosjekt som det skal skrives to bacheloroppgaver og to masteroppgaver på. Dette prosjektet omhandler fysiologiske prestasjonsbestemmende faktorer i langrenn. Vi ønsker å se på sammenhenger mellom ulike styrke-, spenst- og utholdenhetsvariabler i forhold til prestasjonen i et testløp (5,4 km fristil) i rulleskiløype.

Vi ønsker en bredde av nivå innenfor sekken «konkurransen-løpere», og hittil har vi testet løpere som:

- a) ikke satser 100 % på langrenn og bare «henger med».
- b) løpere som hevder seg i toppen av sine respektive klasser nasjonalt, først og fremst juniorklassen.

### **Viktigheten og bruk av studien**

At vi får muligheten til å utføre et feltarbeid er et viktig bidrag for å utvikle større innsikt, og forståelse for problemstillinger knyttet til faktorer som bestemmer / påvirker løpsprestasjoner. Dette vil forhåpentligvis være et lite, men verdifullt bidrag for langrennstrenere og – utøvere.

Dataene som fremkommer i studien vil i hovedsak bli benyttet til en master – og bacheloroppgaver. De vil også kunne bli presentert på nasjonale og internasjonale konferanser og brukt i vitenskapelige artikler. De vil også kunne bli brukt i forelesninger og seminarer.

### **Hvilke tester gjennomføres?**

#### Maksimalt oksygenopptak (VO<sub>2</sub>) maks-test:

En velkjent test som måler det maksimale oksygenopptaket og som varer i ca. 5 – 10 minutter pr. person. Denne blir gjennomført som løping i motbakke på tredemølle.

#### Styrketester

I prosjektet måler vi en repetisjon maksimum (1RM) i øvelsene nedtrekk og knebøy (90°). I knebøy-øvelsen vil også maksimal effekt (watt) bli målt.

### Spensttester

Vi ønsker å måle spenst i tre ulike hoppvarianter: squat jump (SJ), counter movement jump (CMJ) og CMJ med armsving.

### Tyngdeoverføring og anaerob utholdenhet / muskulær tretthet

Dette er en test som går på repeterte maksimale hopp fra bein til bein, der hopp høyde blir målt i hvert hopp.

### Testløp rulleski

5,4 km fristil på en egen rulleskibane i Bø.

## **Informasjonssikkerhet**

Alle testresultater vil kun brukes – og lagres under et forsøkspersons-nummer (avidentifisering). Du vil få tilgang på egne testresultater, men ingen andre skal kunne se ditt navn knyttet til disse.

## **Informert samtykke**

I henhold til etiske retningslinjer for forskning er det anbefalt å få skriftlig samtykke på at du frivillig deltar i prosjektet. Du kan når som helst trekke deg fra prosjektet, uten noen som helst form for konsekvenser. Innhentede opplysninger som ikke er publisert vil anonymiseres.

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

Sted og dato.....

Dersom det er noe du lurer på kan du kontakte oss på mail eller mobil:

Jan – Michael Johansen  
91748374  
janmichael.johansen@gmail.com

Med vennlig hilsen

Jan-Michael Johansen  
Sondre  
Arnstein Sunde  
Øyvind Støren

Masterstudent  
Masterstudent  
Førstelektor  
Førsteamanuensis

## Vedlegg 2: Egenerklæringsskjema

### Egenerklæring ved testing på Idrettsfysiologisk testlab, HSN Bø

Navn : .....  
 Adresse : .....  
 Tlf : .....  
 Tlf pårørende : .....  
 Alder : .....

Forevist legeerklæring (over 40 år) Ja  Nei   
 Forevist tillatelse fra foresatte (under 18 år) Ja  Nei

Karakterisering av egen treningstilstand:

Utrent  Mosjonist  Konkurransutøver  Toppidrettsutøver

	Ja	Nei
Har du eller har du hatt hjertesykdom?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du eller har du hatt diabetes (type I/ type II)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har noen i din nærmeste familie hatt hjertesykdom/ blodpropp/slag før fylte 50 år?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Opplever du smerter i brystet i forbindelse med fysisk aktivitet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du besvimt i forbindelse med fysisk aktivitet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Røyker du?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bruker du snus?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Har du eller har du hatt luftveis-/halsinfeksjon siste uke?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bruker du medisiner fast?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

I så fall, mot hva? \_\_\_\_\_

Jeg er klar over at jeg tester meg på eget ansvar, og har svart ærlig og samvittighetsfullt på ovenstående spørsmål

Sted:..... Dato:.....

Underskrift:.....

Evt underskrift foresatte:.....