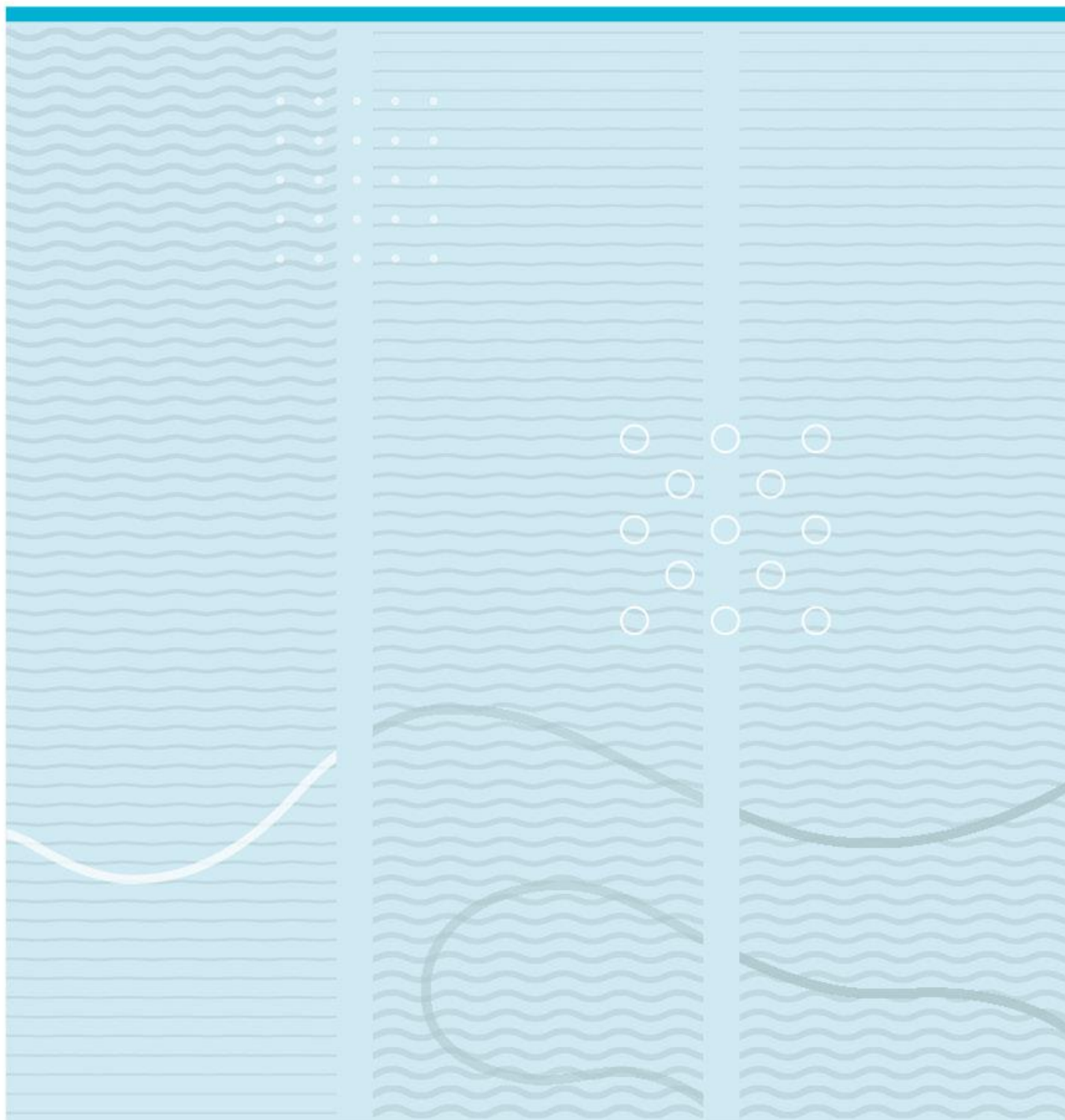


Sondre Wright Lunde

## Forandring fryder

Effekt på aerob kapasitet etter endringer i intensitetsdistribusjon hos seks langrennsløpere



Universitetet i Sørøst-Norge  
Fakultet for humaniora, idretts- og utdanningsvitenskap  
Institutt for idretts- og friluftsfag  
Postboks 235  
3603 Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2021 Sondre Wright Lunde

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

## Sammendrag

**Formål:** Formålet med studien var å undersøke hvilken effekt individuelle endringer i trening og intensitetsdistribusjon hadde på  $VO_{2max}$  hos seks langrennsløpere. Dette er en oppfølgingsstudie til studien «No Change No Gain» (Johansen et al 2020a), der løperne ble fulgt ett år, og ikke hadde noen signifikante endringer i trening eller  $VO_{2max}$ .

**Metode:** Totalt seks, tre kvinnelige og tre mannlige langrennsløpere på nasjonalt nivå i alderen 17-32 år deltok i studien. Deltakerne trente etter egen treningsplan og rapporterte i egen treningsdagbok basert på monitorering av hjertefrekvensmåler. Treningen ble delt inn i P<sub>1</sub>: februar 2019-februar 2020, P<sub>2</sub>: februar 2020-juli 2020 og P<sub>3</sub>: juli 2020-august 2020. Innsamling av treningsdata ble gjort gjennom alle periodene, og deltakerne ble testet for  $VO_{2max}$  i april, august og oktober i 2019, samt i februar og august i 2020. **Resultater:** En skiløper reduserte totalvolumet av treningen (TOT) og økte volumet av høyintensiv trening (HIT), to skiløpere opprettholdt HIT og reduserte TOT, to skiløpere økte både TOT og HIT, og en skiløper økte TOT og reduserte HIT. På individnivå økte fem av seks skiløpere  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) med fra 3.6 – 13.2%. På gruppenivå økte  $VO_{2max}$  med  $7.8 \pm 5.8\%$ .  $\Delta VO_{2max}$  uttrykt som  $L \cdot min^{-1}$  (august 2019 → august 2020) viste sterk negativ korrelasjon med henholdsvis  $\Delta TOT$  ( $r=-0.82$ ,  $p<0.05$ ,  $SEE=117.34\%$ ) og  $\Delta HIT$  (gjennomsnitt av P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> → P<sub>3</sub>) ( $r=-0.85$ ,  $p<0.05$ ,  $SEE=114.14\%$ ). **Konklusjon:** Studien viste at individuelle endringer i treningens intensitetsdistribusjon ga økt  $VO_{2max}$  hos fem av seks langrennsløpere. Det kan se ut som at langrennsløperne som økte mengden HIT og samtidig opprettholdt eller reduserte total mengde trening, økte  $VO_{2max}$  mer enn langrennsløpere som økte total mengde trening alene eller sammen med HIT. Imidlertid var ikke dette bildet entydig.

# Abstract

**Objectives:** The purpose of this study was to investigate how changes in training intensity distribution could affect the maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), in already well-trained cross country skiers. This is a follow-up to the study «No Change No Gain» (Johansen et al 2020a), in which the skiers after a year showed no significant changes in neither training characteristics nor  $VO_{2max}$ . **Methods:** A total of six, three female and three male cross country skiers, aged 17-32 years participated in this study. The skiers trained according to their own training plans, and all training were reported in training diaries based on heart rate measures. The whole period was divided into P<sub>1</sub>: February 2019-February 2020, P<sub>2</sub>: February 2020-July 2020 and P<sub>3</sub>: July 2020-August 2020. Training data were collected during all periods, and the skiers were tested for  $VO_{2max}$  in April, August, and October in 2019, and in February and August in 2020. **Results:** One skier reduced the total volume of training (TOT) and increased the volume of high intensity training (HIT), two skiers maintained HIT and reduced TOT, two skiers increased both TOT and HIT, and one skier reduced HIT and increased TOT. Five out of six skiers increased  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) by 3.6–13.2 %. On a group level,  $VO_{2max}$  increased by  $7.8 \pm 5.8$  %. Strong negative correlations were observed between  $\Delta VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) (August 2019→August 2020) and  $\Delta TOT$  ( $r=-0.824$ ,  $p<0.05$ ,  $SEE=117.34\%$ ) and  $\Delta HIT$  (mean P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>→P<sub>3</sub>) ( $r=-0.85$ ,  $p<0.05$ ,  $SEE=114.14\%$ ), respectively. **Conclusions:** The present study revealed that considerable changes in training intensity distribution resulted in increased  $VO_{2max}$  in five out of six already well-trained cross country skiers. The most beneficial change seemed to be a combination of increased or maintained HIT volume and reduced TOT volume. This was superior to a concurrent increase in TOT and HIT. However, the study did not give unambiguous results.

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>Forord .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Teori.....</b>	<b>8</b>
1.1 Konkurranselangrenn .....	8
1.1.1 Teknikkene i langrenn.....	8
1.1.2 Langrennssportens konkurranseformer .....	9
1.1.3 Langrennsløypas karakteristika og utforming .....	10
1.2 Fysiologiske arbeidskrav i langrenn .....	11
1.2.1 Maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2max}$ ) .....	12
1.2.2 Laktatterskel (LT).....	15
1.2.3 Arbeidsøkonomi (C) .....	16
1.2.4 Maksimal aerob hastighet (MAS).....	20
1.2.5 Utnyttingsgrad ( $\%VO_{2max}$ ).....	20
1.2.6 Maksimal styrke .....	21
1.3 Treningskultur i langrenn .....	24
1.4 Problemstilling .....	28
<b>2 Metode.....</b>	<b>29</b>
2.1 Studiedesign .....	29
2.2 Treningsregistrering.....	30
2.3 Testprotokoll .....	31
2.3.1 Dag 1 – protokoll.....	31
2.3.2 Dag 2 - protokoll .....	33
2.3.3 Statistiske analyser .....	36
<b>3 RESULTATER .....</b>	<b>37</b>
3.1 Treningskarakteristika .....	37
3.2 Utvikling av $VO_{2max}$ .....	42
3.3 Deltakollerasjoner.....	44
3.3.1 $\Delta TOT$ og $\Delta VO_{2max}$ .....	44
3.3.2 $\Delta VO_{2max}$ og $\Delta LIT$ .....	45
3.3.3 $VO_{2max}$ og TT-staking .....	46

<b>4</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>47</b>
4.1	Individuelle treningstilpasninger og utvikling av $VO_{2max}$ .....	47
4.2	Endring i trening og $VO_{2max}$ på gruppenivå .....	51
4.3	Styrker og svakheter .....	55
4.4	Praktiske implikasjoner .....	56
<b>5</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>Litteratur</b> .....	<b>58</b>

## Forord

Jeg vil først benytte anledningen til å takke for at jeg fikk anledningen til å fullføre mastergraden min ved Universitetet i Sørøst-Norge, som av flere grunner har vært på vent noen år. Jeg takker samtlige deltakere i denne studien, som har gitt ett unikt datamateriale og mulighet for spennende forskning innenfor et viktig område i utholdenhetsidrett. Økt bevisstgjøring rundt dette temaet trur jeg kan oppfylle mange drømmer.

Dette har virkelig vært en lærerik prosess, som har gitt glede, mye mestring, og til tider frustrasjon. Forskeren i meg har virkelig kommet fram i dagens lys, og mye av læringen fra dette året skal tas med tilbake til læreryrket, trenergjerningen og den framtidige karrieren. Dypdykk i mye litteratur, mange seine kvelder ved siden av jobb og familie har selvfølgelig vært krevende, men selvvalgt, og totalt sett er det en sann glede å fullføre masteravhandlingen. I den anledning må jeg rette en stor takk til min flotte kone, energirike og humørfylte datter og resten av familien, som har lagt til rette og heiet på meg helt til målstreken. Jeg er også takknemlig for at jobben min med ledelse har tilpasset og lagt opp til at jeg kan få til dette.

Avslutningsvis vil jeg rette en stor takk til min eminente veileder Øyvind Støren. Døra er alltid åpen, men med avstand og pandemi har det blitt mest mailkorrespondanse og Zoom-samtaler, som alltid gir gode svar, råd og sparring. Også en takk til Jan-Michael Johansen, som har inkludert meg på en strålende måte i prosjektet, og delt datamateriale og også vært en jeg har kunne rådføre meg med. Det er alltid hyggelig og interessant å komme innom testlaboratoriet i Bø, enten det er for en masteravhandling eller fordi noen utøvere skal teste seg. Atmosfæren er god og det blir alltid spennende samtaler, der engasjement, kunnskap og praktisk erfaring deles i skjønn forening.

Bø i Telemark, 20.05.2021

Sondre Wright Lunde

# 1 Teori

## 1.1 Konkurranselangrenn

Utholdenhetsidrett er definert som fysisk konkurranseaktivitet med kontinuerlig varighet på >75 sekunder (s) (McCormick et al., 2015). Aerob utholdenhet kan ifølge Pate & Kriska (1984) defineres som evnen til å utføre fysisk arbeid med moderat til høy intensitet over lengre tid, der store muskelgrupper er aktivert, og er således produktet av maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2max}$ ), arbeidsøkonomi (C) og laktatterskel (LT). Langrenn anses å være en av de mest krevende utholdenhetsidrettene, som stiller krav til en rekke fysiologiske, tekniske og taktiske ferdigheter (Smith, 1990; Zoppirolli et al., 2020). Det konkurreres i variert terreng hvor langrennsløperen må evne å benytte en stor del av hens aerobe kapasitet. Utøveren må benytte helkroppsarbeid med koordinering av aktiv over- og underkropp i stilartene klassisk og skøyting, som stiller høye krav til effektiv energiomsetning til å utøve kraft og fart i skisporet (Losnegard, 2019; Sandbakk & Tønnessen, 2012; Sandbakk et al., 2016; Sandbakk & Holmberg, 2017, Stöggl et al., 2018; Vandbakk et al., 2017). En høy  $VO_{2max}$ , høy LT, samt en god C, ser ut til å bestemme en stor del av prestasjonen (Hoffmann & Clifford, 1992; Ingjer, 1991; Rusko; 1987; Sandbakk et al., 2011c; Welde et al., 2003). Eliteutøvere i langrenn kan karakteriseres som utøvere som kan nyttiggjøre seg av en høy prosentdel av  $VO_{2max}$  over lengre perioder (Eisenman et al., 1989; Sandbakk & Holmberg, 2017), altså en høy utnyttingsgrad.

### 1.1.1 Teknikkene i langrenn

I klassisk er delteknikkene staking, dobbelttak med fraspark, diagonalgang og fiskebein, mens i skøyting er det fem delteknikker som byttes på avhengig av fart og terreng (Holmberg, 1996). De fem delteknikkene i skøyting deles opp i gir en-fem ut fra hvilket tempo terrenget krever; diagonalskøyting, padling, dobbeldans, enkeldans og friskøyting (Sandbakk & Tønnessen, 2012). Siden de første olympiske leker i Chamonix, Frankrike i 1924 til forrige OL i 2018 i Pyeongchang, Sør-Korea har langrenn vært en av sportene med størst utvikling med tanke på nye konkurranseformer, teknikkutvikling, forbedret utstyr og preparering av løyper (Pellegrini et al. 2018). I løpet av de siste 50



årene har antall langrennskonkurranser fordoblet seg, og det spesielt etter at skøyting ble introdusert i løpet av 1980-tallet (Sandbakk & Holmberg, 2017). Utviklingen med to skiteknikker og flere fellesstarter og sprintdistanser, som gir raske skifter av delteknikker og intensitetssvingninger, har stilt nye krav til langrennsløperens fysiologi og tekniske- og taktiske ferdigheter når man skal bli verdens beste i en spesifikk disiplin (Holmberg et al., 2005; Losnegard, 2019). Spesielt gjelder dette kravene til maksimal styrke og hurtighet (Sunde et al. 2019).

### 1.1.2 Langrennssportens konkurranseformer

Konkurranselangrenn deles inn i sprintlangrenn (1-1.8 kilometer (km)), distanselangrenn (5-50km) og langløp (40-90km, som oftest i klassisk stil) (Johansen et al., 2020b; Sandbakk & Holmberg, 2017; Stöggl et al., 2019; Zoppirolli et al., 2020). I verdensmesterskap (VM) og olympiske leker (OL) konkurreres det i begge stilarter for damer og herrer på henholdsvis distansene 10km og 15km med individuell start, 15km og 30km skiathlon (klassisk og skøyting med skibytte halvveis), 30km og 50km fellesstart, sprint og teamsprint på 1.3-1.8 km og stafett (FIS 2020; Sandbakk & Holmberg, 2017; Stöggl et al., 2018). Fem av seks konkurranser i mesterskap er fellesstarter, der de taktiske egenskapene helt klart spiller en viktig rolle (Sandbakk og Holmberg, 2017). Varighet på 12 minutter (min) (4 · 3min sprint) til over 120min (50km) (Sandbakk og Holmberg, 2014; Solli et al., 2017) er vanlig for konkurransene i verdenscupen, og i nasjonale og kontinentale cuper. I langløp kan vinnertider av eliten være opp mot 240 minutter (f.eks. Vasaloppet), der det i hovedsak benyttes staking (Johansen et al., 2020b).

Det første sprintrennet som ble arrangert i langrenn hevdes å være «The Dolomitenprint» i Lienz i 1979, men sprint ble likevel ikke introdusert offisielt i verdenscupen før i 1996. Stilarten var da skøyting og sprint var først med i VM i Lahti i 2001 og i OL i Salt Lake City i 2002. Klassisk sprint ble først introdusert i 2005, i henholdsvis Otepää og Obertsdorf (Hébert-Losier et al., 2017). Sprintkonkurransene gjennomføres med en individuell prolog der de 30 beste går videre til fem kvartfinaler, der utøverne konkurrerer seks og seks mot hverandre. De to beste fra hvert heat går

videre, sammen med to «lucky loosere» som er de to med best tid av dem som ikke er direkte kvalifisert til semifinaler (totalt 12 utøvere med seks i hver semifinale). For å nå finalen må utøverne være blant de to beste i sine respektive semifinaler eller en av to «lucky losers». Utøverne i finalen får altså fire sprintdrag på høy intensitet med relativ kort pause (15-60min) mellom heatene (Hébert-Losier et al., 2017; Stöggl et al., 2018). Konkurransetraséene skal ifølge FIS-reglene være mellom 1-1.8 km for begge kjønn (FIS 2020).

### 1.1.3 Langrennsløypas karakteristika og utforming

En tredel av konkurranseløypa i langrenn skal være flat, en tredel utfor og en tredel motbakker (FIS 2020). I distanselangrenn er mer enn 50% av konkurransetiden i motbakker, og dette terrenget utgjør de største individuelle forskjellene i prestasjon (Andersson et al. 2010; Bergh, 1982; Haugnes et al., 2019; Sandbakk et al., 2011a; Sandbakk & Holmberg, 2014; Sandbakk & Holmberg, 2017; Smith GA, 1992). I rennsekvenser i både klassisk og skøyting kan Mygind et al. (1994) vise til at de høyeste målingene av oksygenopptak er i motbakkene. På henholdsvis 10km- og 20km-distansetester vises det at det er i motbakkene det kreves aller mest av den aerobe kapasiteten til utøveren, og at man kan her oppnå tilnærmet makspuls ( $HF_{max}$ ). Det kan skille mer enn 20 hjerteslag mellom motbakke og utforkjøring (Bergh, 1982). Langrenn er derfor intervallbasert når man ser på metabolsk intensitet, arbeidsbelastning og tempo (Haugnes et al., 2019). Når man sammenligner relativ tid som utøvere bruker i motbakker, utforbakker og på flater, så er de beste utøverne som oftest også raskest på hver enkelt terrenngtype (Sandbakk et al., 2016; Stöggl et al., 2018; Welde et al., 2017). Det er anbefalt å benytte seg av en mest mulig jevn pacing (tilnærmet lik fart på rundene) under konkurranser (Stöggl et al., 2018; Stöggl et al., 2020).

De kuperte løypene gir mange tekniske girskifter og farten underveis i rennet kan variere fra  $5-70\text{km}\cdot\text{t}^{-1}$  i stigninger varierende mellom +20% og -20% (Holmberg, 2015; Sandbakk & Holmberg, 2017). I løpet av en sprint på 1.5km er det omtrentlig 30 teknikk- eller girskifter, og i distanselangrenn er det flere hundre avhengig av distansens lengde (Sandbakk & Holmberg, 2017). Med forbedret utstyr, preparering av løyper, teknikk- og

treningsstrategier har den metabolske energikostnaden per meter gått ned mer enn 50% de siste 100 årene (Formenti et al., 2005; Losnegard, 2019). Siden fem av seks renn i OL og VM er massestart må vinneren ofte besitte evnen til hurtige akselerasjoner og sluttspurter for å kunne slå konkurrentene (Losnegard, 2019).

Muskulær styrke og power i overkroppen spiller en viktig rolle i langrenn da det å kunne generere mye kraft uavhengig av tid den skal opprettholdes, ses på som en viktig egenskap i konkurranselangrenn (Alsobrook & Heil, 2009; Gaskill et al., 1999a; Gaskill et al., 1999b; Hoffmann & Clifford, 1992; Mahood et al., 2001; Rundell & Bacharach, 1995; Sharkey, 1984; Strømme et al., 1977; Sunde et al., 2019). Flere forskere har pekt på viktigheten av aerob- og anaerob overkroppspower med tanke på å predikere langrennsprestasjon, og foreslår at langrennsutøvere bør fokusere på å utvikle aerob- og anaerob kapasitet og spesifikk styrke av overkroppen (Bilodeau et al., 1995; Gaskill et al., 1999b; Mahood et al., 2001; Rundell, 1995; Sharkey, 1984). En konsekvens av dette har i løpet av de siste 20 årene gitt ett mer rettet fokus i langrennstreningen på spesifikk utholdenhetstrening for overkroppen, med mer rulleskitrening og styrketrening. Nettopp for å kunne møte kravene til fartsutviklingen i dagens disipliner, som krever utøvers evne til raskt å utvikle kraft til akselerasjoner og spurter (Holmberg, 2015; Pellegrini et al.; 2018; Sandbakk & Holmberg, 2014). Et eksempel er når Mahood et al. (2001) demonstrerte viktigheten av overkroppsarbeidet i langrenn, da de viste at 1km staketest på rulleski i motbakke var den beste predikatoren for prestasjon på 10km rulleskitest skøyting blant 13 mannlige langrennsløpere.

## **1.2 Fysiologiske arbeidskrav i langrenn**

Pate og Kriska (1984) fremhever tre nøkkelfaktorer som påvirker prestasjonen i aerobe utholdenhetsidretter;  $VO_{2max}$ , C og LT. Dette er en inndeling som støttes av flere publikasjoner (Helgerud, 1994; Joyner & Coyle, 2008; Pollock, 1977; Støren et al., 2013). Di Prampero (2003) bruker de samme som nøkkelfaktorene til å forklare begrensninger for prestasjon i aerob utholdenhetsidrett, men bytter ut laktatterskel med utnyttingsgrad. Mens Bassett & Howley (2000) benytter seg av alle de fire nøkkelfaktorer som predikerer utholdenhetsprestasjon;  $VO_{2max}$ , C, LT og utnyttingsgrad.

I en konkurranse vil utøveren som har høyest  $VO_{2max}$ , samt evnen til å utnytte størst andel av  $VO_{2max}$  og innehar den laveste  $O_2$ -kostnaden per meter, mest sannsynlig være raskest fra start til mål (Støa et al., 2010). I langrenn vil løpshastigheten ved LT kunne være en god referanseverdi for å måle progresjon i treningsarbeidet, siden LT-hastigheten er avhengig av nettopp  $VO_{2max}$ , C og LT som  $\%VO_{2max}$  (Støa et al., 2020, Støren et al., 2014). Imidlertid, på grunn av langrennssportens unike egenart, vil de ulike delteknikkens arbeidsbelastning og metabolske intensitet variere på grunn av konstant variasjon av terreng og intensitet (Sandbakk & Holmberg, 2017).

### 1.2.1 Maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2max}$ )

Maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2max}$ ) kan defineres som det høyeste opptaket av oksygen ( $O_2$ ) som kan omsettes av kroppen ved intensiv fysisk aktivitet ved havnivå (Bassett & Howley, 2000; Pate & Kriska, 1984).  $VO_{2max}$  hos en utøver er bestemmes av; lungenes evne til å transportere  $O_2$  fra atmosfæren til blodet, blodets og de røde blodcellenes evne til å binde til seg  $O_2$ , minuttvolumet til hjertet (MV) sin evne til å transportere blodet med oksygenet rundt i kroppen, musklens vaskularitet og musklens evne til å nyttiggjøre seg av  $O_2$  (Larsen & Sheel, 2015; Rusko, 2003; Wagner, 1996). Åstrand et al. (2003) definerer  $VO_{2max}$  som det høyeste  $O_2$ -opptaket man kan oppnå ved havnivå under fysisk anstrengelse med varighet på to til seks minutter der man aktiverer store muskelgrupper.  $VO_{2max}$  setter en øvre grense for prestasjon i utholdenhetsidretter, siden utøvere ikke kan prestere over 100% av  $VO_{2max}$  over lang tid (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008).

Høy aerob kapasitet er meget avgjørende for langrennsprestasjonen, og mannlige eliteutøvere måler over  $80 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  og kvinnelige eliteutøvere rundt  $70 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  i  $VO_{2max}$  (Saltin & Åstrand, 1967; Ingjer, 1991; Sandbakk et al., 2016; Tønnessen et al., 2015). Kvinners  $VO_{2max}$  er omtrent 10% lavere enn menns  $VO_{2max}$  grunnet lavere konsentrasjon av hemoglobin i blodet og høyere andel kroppsfett (Saltin & Åstrand, 1967; Saltin, 1997). Upubliserte data viser at det er målinger fra mannlige

medaljevinnere som har oversteget  $7 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  (Sandbakk & Holmberg, 2014). Strømme et al. (1977) og Holmberg et al. (2007) viste at eliteutøvere i langrenn målte høyere  $\text{VO}_{2\text{max}}$ -verdier i diagonalgang på tredemølle sammenlignet med  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  i løping på tredemølle. Dette kan begrunnes med at den klassiske delteknikken inkluderer over- og underkroppsarbeid. Forskjellen var liten, noe som tilsier at  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ -løp også kan anvendes som måleenhet som  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . Samtidig vil  $\text{VO}_{2\text{max}}$  som prestasjonspredikator fungere best i et heterogent utvalg (Bosquet et al., 2002; Ingjer, 1992; Noakes TD, 1988).

Den aerobe metabolismen foregår i mitokondriene der  $\text{O}_2$  hjelper til å bryte ned pyrodruesyre (pyruvat) til endeproduktene vann ( $\text{H}_2\text{O}$ ) og karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), mens den anaerobe metabolismen (glykolysen) foregår i cytosol hvor glukose brytes ned til pyruvat, og hvis  $\text{O}_2$  ikke er tilgjengelig, vil pyruvat bli brutt ned til melkesyre (McArdle et al., 2010; Åstrand et al., 2003). Det aerobe systemet har stor kapasitet, men en viss treghet som karakteriseres med lavere maksimal power av energiutbyttet sammenlignet med det anaerobe systemet, som innehar begrenset kapasitet, men som kan produsere høy metabolsk power (Losnegard, 2019). De relative energibidragene avhenger helt klart konkurransevarighet og de sportsspesifikke kravene som stilles (Gastin, 2001). Ved maksimalt arbeid i ett minutt, har Medbø & Tabata (1989) vist at det er en 50%-50% fordeling av aerob- og anaerob energiomsetning. Under minuttet er det anaerobe bidraget størst, mens det aerobe bidraget er størst over ett minutt. Når « $\text{O}_2$ -demand» overgår « $\text{O}_2$ -supply» under fysisk aktivitet vil den anaerobe nedbrytningen av glykogen og glukose til laktat spille en viktig rolle med å supplere den aerobe energifrigjøringen i å produsere energigivende adenosin trifosfat (ATP) til musklene (Åstrand et al., 2003). Ved fysisk arbeid på intensitet under  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , vil  $\text{VO}_2$  øke ved økende intensitet (Gastin, 2001). Det maksimale oksygenopptaket ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) kan oppnås etter to minutter på høy intensitet, og kan være på cirka 90% av  $\text{VO}_{2\text{max}}$  etter 30-60s (Gastin, 2001). Når energien som trengs ved fysisk aktivitet ikke lenger kan sørges for aerobt med  $\text{VO}_{2\text{max}}$  som øvre begrensning, må prosessen skje anaerobt (di Prampero, 2003). Åstrand et al. (2003) hevder at godt trente utøvere kan opprettholde 100% av  $\text{VO}_{2\text{max}}$  i cirka 10min, 95% i 30min, 85% i 60min og 80% i 120min. Dette samsvarer med eliteløpere som kan ha gjennomsnittsfart som tilsier 75-85% av  $\text{VO}_{2\text{max}}$  på et maraton, 90-100% på 10km, og tett på  $\text{VO}_{2\text{max}}$  på 5km (Costill et al., 1973; Basset & Howley, 2000;

Støa et al., 2010). I sprintlangrenn og distanselangrenn vil den gjennomsnittlige aerobe energiomsetningen være henholdsvis 70-75% og 85-95% av den totale energiomsetningen (Mygind et al., 1994; Sandbakk & Holmberg, 2017).

#### 1.2.1.1 Allometrisk skalering

På 1970-tallet hadde finnen Juhani Mieto med sine 96 kilo (kg) og  $VO_{2max}$  på  $7,4 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  stor suksess i skisporet, tross lavere  $VO_{2max}$  ( $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) enn sine konkurrenter (Rusko, 2003; Saltin, 1997). I kontrast til løping kan det være mer utfordrende å predikere prestasjonskapasitet i langrenn og hvilken måleenhet man skal bruke for  $VO_{2max}$  for å justere kroppsmassen med tanke på snøforhold og løypeprofil, som spiller en stor rolle. De lettere skiløperne favoriseres i kuperte løyper og under tyngre forhold med dårlig glid, mens de tyngre løperne favoriseres i flate løyper med god glid og høyt tempo (Saltin, 1997). Bergh (1987) foreslår å uttrykke  $VO_{2max}$  som  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-2/3}\cdot\text{min}^{-1}$  med tanke på å vurdere prestasjon, så man slipper å favorisere de letteste utøverne da man med en skalert verdi av kroppsmassen tar hensyn til kroppsmassen som skal forflyttes, siden oksygenopptaket ikke øker proporsjonalt med kroppsmassen (Bergh & Forsberg, 1992). Ingjer (1992) viste i sin studie på eliteutøvere gutter i langrenn, at  $VO_{2max}$  uttrykt som  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  begynte å flate ut ved 15-årsalderen, mens  $VO_{2max}$  uttrykt som  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-2/3}\cdot\text{min}^{-1}$  og  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  fortsatte å øke gjennom junioralderen og til de var 20 år (som er de siste dataene i denne studien).

#### 1.2.1.2 Bestemmende faktorer for $VO_{2max}$

$VO_{2max}$  begrenses av det kardiovaskulære systemets (hjerte, lunger og blod) evne til å levere  $O_2$  til arbeidende muskler, og av arbeidende musklers evne til å forbruke  $O_2$  (Basset & Howley, 2000; Bergh, 1982; McArdle et al., 2010). Oksygenet ( $O_2$ ) har en lang vei å gå fra atmosfæren til mitokondriene, der  $O_2$  konsumeres i muskelcellene og spiller en avgjørende rolle i den aerobe energifrigjøringen (Basset & Howley, 2000; McArdle et al., 2010). Mitokondriene er cellenes energisenter, det er her ATP produseres aerobt (McArdle et al., 2010; Rusko, 2003; Sharkey, 1984). En muskelfiber kan inneholde mange mitokondrier, og antallet mitokondrier vil variere med treningsstatus og muskelfibertype (Åstrand et al., 2003). Ved fysisk aktivitet som inkluderer store

muskelgrupper er det  $O_2$ -transporten (supply) som er den hovedbegrensende faktor, siden kapasiteten for demand overstiger kapasiteten for supply – i hvert fall for friske og godt trente (Andersen & Saltin, 1985). Dette bildet kan se annerledes ut ved delkroppsarbeid, når det ikke er like stor konkurranse om supply (Boushel et al., 2011; Boushel & Saltin, 2013). Supply bestemmes av lungenes diffusjonskapasitet, hjertets pumpekapasitet og oksygenstransporten i blodet (Basset & Howley, 2000). Hjertets pumpekapasitet uttrykkes gjennom hjertets minuttvolum (MV), som er hvor mye blod hjertet klarer å pumpe ut i løpet av ett minutt. MV er produktet av variablene HF og SV (slagvolumet), der slagvolumet er hvor mye blod som pumpes ut per hjerteslag (Bergh, 1982; Pate & Kriska, 1984; McArdle et al., 2010). Demand bestemmes av mitokondrienes evne til å ta opp og nyttiggjøre seg av  $O_2$  i energiproduksjonen (Basset & Howley, 2000; Berg et al., 2019).

Med trening kan oksygentransporten forbedres på grunn av økning av MV (Basset & Howley, 2000, McArdle et al., 2010). HF er medfødt, og det er da SV som kan forbedres ved trening (Basset & Howley, 2000; Bergh, 1982; Ekblom et al., 1968; Helgerud et al., 2007; McArdle, 2010). Helgerud et al. (2007) rapporterte en økning av SV (omtrent 10% økning) og MV var hovedfaktoren for  $VO_{2max}$ -økningen ved høyintensiv intervalltrening i løping (90-95 % av  $HF_{max}$ ) gjennomført av moderat trente menn. Treningen som ble utført for de to intervensjonsgruppene med høy aerob intensitet (HAIT), var henholdsvis (15-15s) · 47 og 4 · 4 min, tre dager i uka i en periode på åtte uker. Økningen av  $VO_{2max}$  for gruppene 15-15s og 4 · 4 min var henholdsvis 5.5% og 7.2%. Intervensjonsgruppene som gjennomførte lavintensitetstrening (45 min, 70 % av  $HF_{max}$ ) og terskeltrening (24.25 min, 85% av  $HF_{max}$ ) tre ganger i uka, økte hverken  $VO_{2max}$  eller SV i denne studien.

### 1.2.2 Laktatterskel (LT)

Laktatterskel (LT) kan defineres som den høyeste arbeidsintensiteten målt som % $VO_{2max}$  ved kontinuerlig fysisk arbeid, der det er likevekt mellom produksjon og eliminasjon av laktatkonsentrasjonen i blodet (diPrampero et al., 1986; Støren et al., 2014, Støa et al., 2020; Åstrand et al., 2003).

Prestasjon avhenger av farten ved LT, som integrerer  $VO_{2max}$ , arbeidsøkonomi (C) og LT ( $\%VO_{2max}$ ), og farten ved LT er derfor en sterk indikator for prestasjonen i løping (Bassett & Howley, 2000; Støren et al., 2008). Å bruke LT målt som arbeidsbelastning som prediktor for prestasjon pleier å gi sterk korrelasjon (Støren et al., 2014). Sunde et al. (2019) viste at LT målt som hastighet (ikke  $\%VO_{2max}$ ) korrelerte med prestasjon på 5640m staking på rulleski. Dette stemmer overens med LT målt som fart som sterk prestasjonsprediktor i sykling (Støren et al., 2014), i løping (Basset & Howley, 2000; Støren et al., 2008) og staking på rulleski (Johansen et al., 2020a). Å definere LT til langrennsløpere er komplekst i forhold til sykling og løping på grunn av idrettens egenart i med tanke på variasjonen av terreng, intensitet og de ulike delteknikkene som er brukt underveis i en langrennskonkurranse (Sandbakk & Holmberg, 2017).

### 1.2.3 Arbeidsøkonomi (C)

Arbeidsøkonomi (C) kan defineres som oksygenkostnaden ved en standardisert aerob arbeidsbelastning (Støren, 2009). I sykling og løping blir C vanligvis definert ved steady state- $VO_2$  som  $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  ved en gitt submaksimal hastighet (Conley & Krahenbuhl, 1980; Costill et al., 1973; Helgerud, 2007; Larsen & Sheel, 2015), eller som  $O_2$ -kostnad per meter ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$  eller  $mL \cdot kg^{-0,75} \cdot m^{-1}$ ) (DiPrampo et al., 1986; Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2007). Da kan vi si at utøvere med god arbeidsøkonomi vil bruke mindre oksygen på distanser i den bevegelsesformen som utføres (Sandbakk & Tønnessen, 2012).

Forholdet mellom det mekaniske arbeidet som utføres (arbeidsbelastningen) og den kjemiske energien som er nødvendig for gjennomføringen (oksygenkostnaden = C) kan ses på som det som avgjør hvor effektivt et arbeid utføres (Helgerud, 2007; Pate & Kriska, 1984; Åstrand et al., 2003). Hvis utøvere som konkurrerer har lik aerob kapasitet, vil den med best C være den som er raskest fra start til mål (Larsen & Sheel, 2015). Hensikten i eksempelvis konkurranselangrenn vil være å skape størst mulig fremdrift og samtidig bruke så lite energi som mulig. Dette vil stille store krav til utøvers teknikk, der den tekniske utførelsen til en gitt bevegelse vil være med å bestemme utøvers C. Det vil



med andre ord ligge et stort utviklingspotensial i å effektivisere delteknikkene i langrenn (Sandbakk & Tønnessen, 2012). I tillegg til teknikk vil C i langrenn påvirkes av taktikk (velge hensiktsmessig delteknikk, minske luftmotstand og påvirkning av friksjonskraft ved å gå bak en konkurrent), fysiologiske forhold (f.eks. forbedre styrke og nevro-muskulær kontroll, og kroppssammensetning), samt utstyr og ytre forhold (Eisenmann et al., 1989; Sandbakk & Tønnessen, 2012).

Mekanisk effektivitet i langrenn vil si hvor mange prosent av skiløpers energiforbruk som brukes til å løfte kroppen mot gravitasjonsfeltet, til å overvinne luftmotstanden, og til å overvinne friksjonskraften mellom skiene og snøen (Sandbakk & Tønnessen, 2012; Stöggl & Holmberg et al., 2016). I tillegg til tyngdekraftens påvirkning som bestemmes ut fra skiløpers kroppsmasse og posisjoner, vil Newtons lover være vesentlig for å forstå mekanikkene som er med på å bestemme langrennsprestasjonen og de ulike skiteknikkene. Og Newtons 2. lov lyder som følger:  $F = m \cdot a$ , der kreftene (F) som virker på skiløperen vil forårsake akselerasjonen (a) av skiløperen i kreftenes retning, og akselerasjonen vil øke proporsjonalt med kreftenes styrke og omvendt proporsjonalt med kroppsmassen (m) (Rusko, 2003). Newtons 3. lov sier at skiløperen vil utrette en kraft mot snøen og underlaget, der underlaget yter en motkraft tilbake på skiløperen, som er retta opp stavene og til kroppen gjennom hender og armer. Resultantkraften (motkraften) er satt sammen av en horisontal- og en vertikal komponent, og desto større den horisontale komponenten er, desto større akselerasjon til å gi skiløper fart fremover med hjelp av fremdriftskraften (Rusko, 2003).

Utøvere vil ha en egen signatur på sine delteknikker, men fellesnevner for å optimalisere teknikkene og for å skape størst mulig akselerasjon og fremdrift for kroppen, vil være ha god balanse og kontroll av kroppstygden fra ski til ski. Dette skjer gjennom god tyngdeoverføring der tyngdepunktet (kroppens tyngde samlet) posisjoneres slik at det kan skapes stor kraft mot underlaget (Sandbakk & Tønnessen, 2012; Stöggl & Holmberg et al., 2016). I staking vil hofta starte kroppens rotasjon og et aktivt «opptrekk» forover sammen med rotasjon i ankelledd og knær i innledningen til stavtaket, og skaper et fall forover der kroppstygden overføres til stavene, og magemusklene stabiliserer hofta når stavene treffer bakken. Albuene flyttes godt frem og den sterke muskulaturen rundt

skuldrene aktiveres i starten av stavgaket og buktrykket bidrar til «katapulteffekt» sammen med den aktive hoften, som skyter utøveren fremover (Sandbakk & Tønnessen, 2012; Holmberg et al., 2005).

Sammenligner man langrennsløpere fra verdenseliten med utøvere fra nasjonalt nivå vil man se at verdenseliten vil være mer effektiv i høy hastighet (Sandbakk et al., 2010; Sandbakk & Tønnessen, 2012). Høyere hastigheter vil kreve større fremdriftskraft, og de beste langrennsløperne kan generere kraft på en og en stav tilsvarende halve kroppsvekta si eller 430 Newton (N) i løpet av så lite som 0,05s, og i tillegg kan de utøve beinspark/beinskyv med kraft på 1600 N (det dobbelte av kroppsmassen) (Stöggl et al., 2011). Faktorer som vil være med å forbedre langrennsløpers effektivitet eller arbeidsøkonomi under teknikkforbedringer er ifølge Sandbakk & Tønnessen (2012): «1) Økning av kraftkomponenten som virker i fartsretningen gjennom enten a) mer kraft per skyv, b) høyere andel av kraften går i riktig retning, c) bedre overføring av kraft til bevegelsesenergi. 2) Reduksjon av kraftkomponenten som virker mot fartsretningen. 3) Gode muskulære arbeidsvilkår for å skape kraft. 4) Tekniske løsninger med faser i syklus, der musklene får avspenning og god blodgjennomstrømming i muskulaturen.» I tillegg bør denne listen også inneholde høy muskulær effektivitet, som vist i Barret O`Keefe et al. (2012).

Forbedring av C ved maksimal styrketrening har vist lavere laktatverdier og reduksjon i relativ kraft brukt på submaksimale hastigheter i staking (Hoff et al., 1999, Hoff et al., 2002). Studiet til Ainegren et al. (2013) viste at eliteseniorer i langrenn var mer energi-effektive i skigåingen enn juniorløperne. Skattebo et al. (2019) sammenlignet seks langløpere og seks allroundløpere fra verdenseliten i langrenn i staking, og fant ut at  $VO_{2peak}$ -staking var høyere hos allroundløperne, men langløperne kompenserte med lavere  $O_2$ -kostnad, som resulterte i samme resultat på en kort staketest på rullskimølla. Forbedret C favoriserer redusert energiforbruk, som potensielt reduserer behovet for energiopptak og bruk av glykogen i musklene (Skattebo et al., 2019). Treningsregime i staking som HIT på tredemølle over seks uker ga blant annet lavere  $O_2$ -kostnad for langrennsløpere, som ikke var spesialtrent i staking (Johansen et al., 2020b).

Maksimal styrketrening kan forbedre C og heve prestasjonen i staking, sykling og løping (Hickson et al., 1988; Hoff et al., 1999, 2002; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010; Østerås et al., 2002). Støren et al. (2008) undersøke effekten av maksimal styrketrening med knebøy (4 RM · 4 repetisjoner med tre minutters pause, tre ganger per uke i en periode over åtte uker) på godt trente langdistanseløpere, og forbedret løpsøkonomien med 5% og utmattelsestesten ble redusert med 21.3% (72s). Det var ingen endring av  $VO_{2max}$ , LT som fart eller  $\%VO_{2max}$  eller kroppsmasse under intervensjonen, noe som tilsier at økning av tid til utmattelse var forårsaket av forbedring av C. Sunde et al. (2010) fant liknende resultater på veltrente syklister etter samme treningsprotokoll. I dette studiet økte 1 RM med 14.2%, sykkeløkonomien ble forbedret med 4.8% og tid til utmattelse ved maksimal aerob power økte med 17.2%. Hoff et al. (1999) undersøkte utbytte av maksimal styrketrening mot prestasjon på stakeergometer, der 15 kvinnelige skiløpere deltok. Derav åtte i intervensjonsgruppa og sju i kontrollgruppa, der styrketreningsgruppa trente en imitert stakeøvelse øvelse tre ganger per uke i ni uker, som et supplement til den ordinære treningen. Stakeøvelsen ble utført som 6RM · 3 repetisjoner (85% av 1RM=repetisjon maksimum), og med suksessfull gjennomført økt ble det lagt til 1kg på neste økt. Kontrollgruppa fortsatte med sin vanlige styrketrening som inneholdt øvelser utført under 60% av 1RM, eller 20 repetisjoner eller mer per øvelse. Kontrollgruppa økte prestasjonen på utmattelsestesten på stakeergometer med 57% og styrketreningsgruppa med 136%, og forskjellen på 79% kan forklares med maksimal styrketrening. Kontrollgruppas tilsynelatende gode fremgang kan antas å være på grunn av siste ukers forberedelser inn mot sesongstart. Intervensjonsgruppa viste signifikant forbedring på stakeøkonomi ( $C_{ski}$ ), og det var signifikant korrelasjon mellom reduksjonen i relativ kraft brukt under en submaksimal hastighet på stakeergometer og forbedring av  $C_{ski}$ , og mellom TPF (time to peak force) og  $C_{ski}$ . Det var også korrelasjon mellom reduksjonen i relativ kraft brukt, TPF,  $C_{ski}$  og tid til utmattelse. Styrketreningsgruppa økte 1RM med 14.5%, og kontrollgruppa viste ingen økning. Ingen av gruppene viste endring av LT.

#### 1.2.4 Maksimal aerob hastighet (MAS)

MAS kan defineres som den laveste steady state bevegelsehastigheten som vil kreve oppnåelse av  $VO_{2max}$ , og det vil si at opp til MAS vil  $VO_2$  øke med ytterligere hastighetsøkning, mens over MAS vil ikke en ytterligere hastighetsøkning føre til høyere  $VO_2$  (Helgerud et al. 2010; Støren et al. 2013, 2014, 2021; Støa et al. 2020; Sunde et al., 2019; Johansen et al., 2020a, 2020b). Som vist i blant annet Helgerud et al. (2010), vil MAS kunne defineres som produktet av  $VO_{2max}$  dividert med C, med benevnelsen meter·min<sup>-1</sup>. I blant annet Støren et al. (2013, 2014) og Johansen et al. (2020a, 2020b) har MAS vist seg å være den mest bestemmende variabelen for aerob utholdenhetsprestasjon.

#### 1.2.5 Utnyttingsgrad (% $VO_{2max}$ )

Utnyttingsgraden kan uttrykkes som prosentdelen av  $VO_{2max}$  som kan opprettholdes i løpet av en gitt tid (Costill et al., 1973; Støa et al., 2010). Å ha evnen til å utnytte en stor prosentdel av  $VO_{2max}$  blir sett på som en god prediktor for prestasjon i utholdenhetsidrett (Eisenman et al., 1989; Larsen & Sheel, 2015), men gjør seg mest gjeldende som prestasjonsprediktor fra distanser fra 10km og lenger (> cirka 30min) (Larsen HB, 2003; Støa et al., 2010). Og ifølge Joyner & Coyle (2008) er prestasjons- $VO_2$  en god prestasjonsindikator på lengre distanser, der for eksempel den beste maratonløperen er den som klarer å opprettholde høyest % $VO_{2max}$  gjennom løpet. Når en utøver viser bedre utnyttingsgrad enn en annen er det fordi vedkommende kommer lenger i terrenget i løpet av kortere tid, og kan dermed vise til høyere relativ intensitet (Støa et al., 2010; Støren & Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Det medisinske, 2009).

Et viktig aspekt ved utnyttelsesgrad vil være størrelsen på  $VO_{2peak}$  i en delteknikk der man ikke oppnår  $VO_{2max}$ . Et typisk eksempel på dette kan være  $VO_{2peak}$  i staking versus  $VO_{2max}$  oppnådd i diagonalgang eller i løping. I staking vil langrennsløpere ha en utnyttingsgrad på 80-95% av  $VO_{2max}$  i løping (Holmberg et al., 2007). Johansen et al. (2020b) viste at en seksukers treningsintervensjon med stakespesifikk HIT tre ganger per uke ga signifikant fremgang i  $VO_{2peak}$  i staking (+7.1 %,  $p<0.05$ ), MAS (+16.5 %,  $p<0.01$ ),

utnyttingsgraden for %LØP-VO<sub>2max</sub> ved staking (+7.3 %, p<0.05), C ved VO<sub>2peak</sub> i staking (-9.2 %, p<0.05) og tid brukt på staketest på 3000 m (+19.5 %, p<0.01). Kontrollgruppa viste ingen fremgang under intervensjonen, og ingen av gruppene økte LØP-VO<sub>2max</sub>.

### 1.2.6 Maksimal styrke

Raastad et al. (2010) definerer maksimal styrke som «den største kraften vi klarer å utvikle ved langsomme eller isometriske muskelaksjoner», og eksplosiv styrke defineres som «evnen til å skape stor kraft hurtig». Begrepene spenst og hurtighet går også inn under eksplosiv styrke, siden disse egenskapene krever hurtig kraftutvikling eller den største kraften som skapes ved store forkortningshastigheter, som vil si stor vinkelhastighet i et ledd (Raastad et al., 2010). Peterson et al. (2006) fant signifikant korrelasjon mellom 1RM knebøy relatert til kroppsvekt, maksimal kraft ved vertikale hopp og prestasjonstester som vertikale hopp, stille lengde og hurtighet (akselerasjon og fart). For kvinnelige juniorløpere i langrenn viste intervensjonsstudien til Vandbakk et al. (2017) med sprintintervaller på staking rulleski/simulert overkroppsstaking (6-8 · 30 s, to ganger per uke i åtte uker) og treningsregimet til Hoff et al. (1999) med maksimal styrketrening (3 · 6RM simulert stakeøvelse, tre ganger per uke i ni uker), at begge supplementene til den vanlige treningen ga tilnærmet lik fremgang for styrke og power, henholdsvis 18-20% og 15%.

Evnen til å utvikle stor kraft hurtig når det ikke skjer endring i muskellengden, kalles «rate of force development» (RFD= «hurtighet på kraftutvikling») (Raastad et al., 2010). RFD sier noe om hvor stor kraft som kan utvikles i den tidlige delen av muskelkontraksjonen (Aagard et al., 2002). Den maksimale styrken måles og uttrykkes ofte i en repetisjon maksimum (1 RM), som bestemmer hvor mye man kan løfte en gang i en utvalgt øvelse (McArdle et al., 2010). Hvor stor effekt (W) eller power vi kan generere i en gitt bevegelse er essensielt når det kommer til eksplosiv styrke, der effekt (W) er arbeid per tidsenhet, som er produktet av kraft og hastighet (Raastad et al., 2010; Turner, 2009; Åstrand et al., 2003). Power er høyst avhengig av evnen til å omsette den høyeste mulige kraften (i.e. maksimal styrke), som vises gjennom sterk korrelasjon

mellom PP (peak power) og maksimal styrke i både overkropp og underkropp (Turner A, 2009).

#### *1.2.6.1 Hva bestemmer 1 RM og RFD?*

Faktorene som påvirker kraftutviklingen deles vanligvis inn i muskulære faktorer og nevrøle faktorer, selv om de ikke opererer uavhengig av hverandre (Raastad et al., 2010; Sale, 1988). Skjelettmuskulaturen omhandler muskelgruppens tverrsnittsareal, fibertypesammensetning, muskellengde, konsentrasjonen av kontraktile proteiner og biomekaniske forhold, mens sentralnervesystemet kontrollerer grad av aktivering, samt koordinering og teknikk (Raastad et al., 2010). Tverrsnittarealet setter potensialet for maksimal muskelstyrke, mens rekruttering av motoriske enheter og fyringsfrekvensen i de motoriske enhetene bestemmer utnyttelsen av dette potensialet (McArdle et al. 2010). Ved systematisk styrketrening kan tverrsnittarealet økes (Campos et al., 2002; Terzis et al., 2006), og kan være gunstig for optimal kraftutvikling i langrennsteknikkene. Samtidig kan hypertrofi ved styrketrening skape økt kroppsmasse, som kan påvirke utholdenhetsprestasjonen negativt siden langrenn også er en vektbærende idrett. Systematisk styrketrening, særlig maksimal- eller eksplosiv styrketrening med maksimal mobilisering har vist seg å gi økt rekruttering av motoriske enheter, bedre fyringsfrekvens og bedre koordinering av motoriske enheter (Behm, 1995; Gandevia, 2001; Hoff et al., 1999, 2002; Kraemer & Ratamess, 2005; Paavolainen et al., 1999).

#### *1.2.6.2 Betydningen av maksimal styrke i langrenn generelt og staking spesielt*

Moderne staketeknikk på høyt nivå kan kjennetegnes med mer eksplosiv tilnærming av utførelsen gjennom større generert kraft på stavene med kortere tid i bakken, og mer dynamisk fleksjon-ekstensjon i albueleddene (Holmberg et al., 2005; Lindinger et al., 2009a; Sunde et al., 2019). Zoppirolli et al. (2013) viste at ved økende hastigheter i staking vil eliteutøvere i langrenn bruke nevro-muskulære strategier for optimalisere stretch-shortening-cyklus (SSC), og SSC-effektiviteten til musklene *triceps brachii* og *latissimus dorsi* er avgjørende faktorer for prestasjon i staking.

I staking blir sykluslengde definert som perioden mellom stavgangene, som starter når stavene treffer bakken (Holmberg et al., 2005; Zoppirolli et al., 2013), der lange sykluslengder kreves for å holde høy fart i flatt terreng, mens raske sykluser må til i motbakkene for å minimere reduksjonen av sykluslengden (Sandbakk & Holmberg, 2017; Solli et al., 2018). Stöggl et al. (2011) og Jonsson et al. (2019) viste at de raskeste eliteutøverne i staking kommer lenger i terrenget per stavgang, som er et resultat av lengre sykluslengder enn de som går saktere. Å inneha evnen til å oppnå og opprettholde lange sykluslengder uavhengig av terreng er en viktig egenskap for å gå fortest mulig på ski (Lindinger et al., 2009c; Sandbakk et al., 2014; Stöggl et al., 2007; Stöggl et al., 2018). Sykluslengden er faktoren som skiller prestasjon mellom kjønnene i staking (Lindinger et al. 2009b; Sandbakk et al., 2014), der menn blant skisprintere fra eliten viste 20% bedre stakprestasjon enn kvinnene (Sandbakk et al., 2014). Syklusfrekvensen i staking derimot, den var bare ulik mellom kjønnene på submaksimale hastigheter (Sandbakk et al., 2014). Høyere fart hos menn sammenlignet med kvinner ved HIT i klassisk skifer i alle terreng, men forskjellene var særlig tydelig i staking i flatt terreng (+26% i løpet av 5km HIT), som er nært relatert til menns mer frekvente staking i motbakker og lengre sykluslengder enn kvinnene (Solli et al., 2018).

Prestasjon i staking er sterkt relatert til høyere maksimal overkroppsstyrke, som er relatert til høyere kraftimpuls, lavere stakfrekvens og evnen til å utvikle stor kraft på kort tid (Bilodeau et al., 1995; Sunde et al., 2019). Sunde et al. (2019) viste at maksimal overkroppsstyrke er en viktig faktor for prestasjon i staking, der forskningen viste sterk korrelasjon mellom maksimal styrke 1RM i nedtrekk og prestasjon på distansetest rullleski staking (5640m). Losnegard et al. (2011) fant også sammenheng mellom prestasjon på fem minutters staketest på tredemølle og økning av maksimal styrke i øvelsene nedtrekk og knebøy.

### 1.3 Treningskultur i langrenn

Langrennstreningen designes for å skape utvikling i et vidt spekter av fysiologiske egenskaper, samtidig som det skal utvikles teknisk og taktisk ekspertise (Sandbakk & Holmberg, 2017), der treningsspesifitet er essensielt for optimal utvikling og prestasjon (Hoffman & Clifford, 1992; Sharkey, 1984). Hovedvekten av langrennstreningen er utholdenhetstrening, som primært utføres på ski, rulleski eller som løping i variert terreng. Langrennsløpere fordeler som oftest treningen i fem intensitetssoner (1-5), mens innenfor forskningen kategoriseres treningen gjerne som intensitetene lav (LIT), moderat (MIT) og høy (HIT) (Sandbakk & Holmberg, 2014). Johansen et al. (2020a) viste at 50% av treningen til langrennsløpere på nasjonalt nivå var skispesifikk, noe som stemmer godt overens med andre studier av skiløpere fra både nasjonalt- og internasjonalt nivå (Losnegard et al., 2013; Tønnessen et al., 2014; Sandbakk et al., 2016; Solli et al., 2017).

I en årssyklus vil de beste langrennsløperne utføre 60% av treningen i perioden mai-oktober og resterende 40% i perioden november-april der totalen gir 750 til 950 årlige treningstimer, derav 700 til 850 timer (t) aerob trening (Sandbakk & Holmberg, 2017). Fordelingen vil vanligvis være 90-95% utholdenhetstrening, 5-10% som styrketrening og 1-2% som hurtighetstrening (Sandbakk et al., 2011b, Sandbakk et al., 2016; Sandbakk & Holmberg, 2017; Solli et al., 2017; Tønnessen et al., 2014). Olympiske eliteutøvere i langrenn vil som oftest ha et likt fokus på klassisk og skøyting i treningsarbeidet, med en fordeling av den aerobe utholdenhetstreningen med 88-91% som LIT, 3-7% MIT og 4-6% HIT (Losnegard & Hallén, 2014; Sandbakk et al., 2011b; Solli et al., 2017; Tønnessen et al., 2014). 12 mannlige langløpere i langrenn i verdensklasse viste et årlig treningsvolum i samsvar med dette med et årlig volum på  $861 \pm 90$  timer, fordelt som 92% utholdenhetstrening, 6% styrketrening og 2% hurtighetstrening (Torvik et al., 2021). Langløperne utførte 50-60% av utholdenhetstreningen som staking (Torvik et al., 2021), som vil være tilnærmet lik tiden de olympiske skiløperne bruker på både skøyting og klassisk (Sandbakk & Holmberg, 2017). Gjennomsnittlig intensitetsfordeling for de 12 langløperne var 88.7 % LIT, 6.4 % MIT og 4.8 % HIT (Torvik et al., 2021). Dette antyder at noen av verdens beste langløpere i langrenn har en mer pyramidisk tilnærming (LIT>MIT>HIT) til intensitetsfordelingen, med langt mer MIT enn de olympiske



skiløperne (Torvik et al., 2021). De olympiske skiløperne vil utføre treningen mer som en polarisert modell med store mengder som LIT, små mengder MIT, og moderate mengder av HIT (Losnegard & Hallén, 2014; Sandbakk & Holmberg, 2017; Solli et al., 2017). Samtidig vil det ofte for olympiske skiløpere, som i andre utholdenhetsidretter, være en mer pyramidisk tilnærming til intensitetsdistribusjonen i grunntreningsperioden versus konkurranseperioden, først og fremst kjennetegnet av noe mer MIT i grunntreningsperioden (Solli et al., 2017; Stöggl & Sperlich, 2015).

For utholdenhetsutøvere vil HIT som oftest utgjøre en til tre ukentlige treninger og omtrentlig 20% av antall årlige økter, og resterende 80% utføres primært som LIT (Seiler, 2010; Seiler & Tønnessen, 2009; Stöggl & Sperlich, 2015). Basert på treningsanalyse av elitejuniorer i langrenn kunne Seiler & Kjerland (2006) anbefale en polarisert treningsmodell der øktene fordeles i antall med 75-80% som LIT, 5% MIT og 15-20% HIT. Anbefalingen om en polarisert treningsmodell støttes også av Stöggl & Sperlich (2014). Dette karakteriseres som en tradisjonell periodiseringsmodell for juniorer og seniorer, som flere mener optimaliserer utviklingen til skiløperen der treningsmodellen kjennetegnes med et høyt volum av LIT og et lite til moderat volum av MIT og HIT i alle perioder, med en gradvis nedgang av et høyt treningsvolum av LIT til desto mer HIT inn mot konkurransesesong (Ingjer, 1992; Matwejew, 1975; Laursen, 2010; Sandbakk et al., 2016; Solli et al., 2017; Tønnessen et al., 2014). Gjennom sine studier på juniorlangrennsløpere i skøyting på ski der de sammenlignet intensitetene lav, moderat og høy i en 5km-konkurranseløype, viste Haugnes et al. (2019) at langrennsløpere er tett på konkurransehastighet i flatt terreng og utforterreng på LIT og MIT, mens i motbakker er hastigheten relativt lav på LIT og MIT. Dette indikerer at store mengder LIT og MIT i lett terreng vil være formålstjenlig for teknikkutviklingen, mens HIT bør prioriteres for å oppnå konkurransespesifikk fart og teknikk i motbakker (Haugnes et al., 2019).

De siste 30 årene er det ikke observert endringer i intensitetsfordelingen i treningen blant langrennsløpere, men det er observert mer trening på rulleski, som ofte er utført i rulleskiløyper hvor utøverne får gjentakende øvelse i konkurranseteknikk i konkurranselikt terreng. Samtidig som det er økt fokus på styrke- og utholdenhet for overkropp, og styrke-, power-, og hurtighetstrening er blitt en større del av

treningshverdagen, spesielt for de som satser på skisprint (Sandbakk & Holmberg, 2014). Langrennsløpere er ofte meget godt trent i underkroppen, men flere utøvere kan ha et stort potensiale for videre utvikling av styrke i overkroppen (Hoff et al., 1999; Terzis et al., 2006; Vandbakk et al., 2017). Sunde et al. (2019) beviste viktigheten av å inkludere maksimal styrketrening i treningsprogrammet for skiløpere, ved at maksimal overkroppsstyrke i nedtrekk korrelerte sterkt med prestasjon i staking. Gaskill et al. (1999b) demonstrerte også viktigheten av overkroppspower i staking, som viste sterk korrelasjon mellom maksimaltest på stakeergometer og henholdsvis hastighet og prestasjon i skisporet.

Flere forskere har observert en stagnasjon i utviklingen til langrennsløpere, der utøverne har nådd et platå for både prestasjon og fysiologiske faktorer som  $VO_{2max}$  og AT (Gaskill et al., 1999a; Ingjer, 1991; Johansen et al., 2020a; Rusko, 1992; Sharkey, 1984). Et alternativ til å snu stagnasjonstrenden kan være å gjennomføre store endringer i treningsstimuli, som kan bidra til å oppnå videre prestasjonsutvikling (Gaskill et al., 1999a). Den tradisjonelle periodiseringsmodellen har mottatt kritikk for å være i konflikt med de fysiologiske adaptasjonene gjennom i stor grad å trene samtidig på de ulike prestasjonsfremmende faktorene (Issurin, 2010; Solli et al., 2019). Alternativet som er argumentert for å være effektivt vil være å bolklekke utholdenhetstreningen i bolker på en til fire uker, der den respektive bolken vil øke fokuset på en spesifikk intensitet eller egenskap, samtidig som de andre egenskapene vedlikeholdes (Issurin, 2010). Tanken er å stimulere tilstrekkelig til å skape videre utvikling hos allerede godt trente utøvere, noe som ikke alltid lar seg gjøre i en tradisjonell periodisering, der enkelte etter hvert kan føle stagnasjon (Issurin, 2010).

Et eksempel på bolklekking av trening er bolklekking av hardøkter og endring i intensitetsdistribusjonen, som har vist seg å skape økt prestasjon i flere utholdenhetsidretter over kortere tidsperioder (Bratland-Sanda et al., 2020; Driller, 2009; Gaskill et al., 1999a; Issurin, 2010; Johansen et al., 2020b; Rønnestad et al., 2014a, 2014b; 2016; Sandbakk et al., 2011c; Weston et al., 1997), og lengre tidsperioder (Gaskill et al., 1999a; Støren et al., 2012). Samtidig trenger man å kartlegge fordelene ved bolklekking av HIT som periodiseringsmodell over lengre tid med ytterligere utforskning

(Karlsen et al., 2020). Det å supplere ekstra HIT over en kortere periode i treningen til eliteutøvere som allerede gjennomfører ett stort volum av LIT kan være ekstremt effektivt for å øke prestasjon til utholdenhetsutøvere uavhengig av konkurransevarighet (Laursen & Jenkins, 2002; Laursen, 2010). Når treningsprogrammet ikke har en passende miks av LIT og HIT kan evnen til å skape utvikling stoppe opp, og prestasjonen stagnere (Laursen, 2010).

Johansen et al. (2020b) viste signifikant økning av  $VO_{2peak}$  - staking og prestasjon på 3km-staketest for en gruppe godt trente utholdenhetsutøvere (ingen endring av  $LØP-VO_{2max}$ ), som gjennomførte en intervensjon med tre stakeintervaller på tredemølle per uke (HIT: 4 · 4min) over en periode på seks uker. Over kortere perioder er det ingen tvil om at bolcklegging av HIT kan gi positiv effekt, men Solli et al. (2019) kunne også vise i sin forskning av verdens beste kvinnelige skiløper gjennom tidene, at hun kunne skilte med suksessfulle sesonger både med periodisering i form av bolcklegging av HIT, og periodisering i form av den tradisjonelle treningsmodellen. Tiden brukt i de ulike intensitetssonene LIT-MIT-HIT var fordelt i bolckleggingsperioden med 88-1-11%, og i den tradisjonelle perioden som 92-4-4%, eller øktfordeling gjennom sesongen som henholdsvis 61-3-36% eller 76-8-16% av LIT-MIT-HIT (Solli et al., 2019). Solli et al. (2017) presenterte tidenes mest meritterte kvinnelige skiløpers (samme som omtalt over) treningskarakteristika gjennom karrieren, som viste en ikke-lineær økning på nærmere 80% fra 522-940t per år i løpet av alderen 20-35år. Utøveren viste til en polarisert treningsmodell gjennom hele karrieren, men i noe mindre grad sent i karrieren. Fordelingen av LIT-MIT-HIT var 88-22-20% i alderen 20-27 år og 92-3-5% i alderen 28-35år, og treningen stabiliserte seg på  $937 \pm 25$  treningstimer gjennomført over  $543 \pm 9$  treningsøkter de fem mest suksessfulle årene av karrieren.

Med utgangspunkt i at en del godt trente langrennsløpere opplever stagnasjon etter en lengre periode med tradisjonell mengde og intensitetsdistribusjon (Johansen et al 2020a), vil det være interessant å se hvilke valg i en eventuell endring av trening som velges, og hvilken effekt denne endringen eventuelt vil ha på aerob kapasitet.

#### **1.4 Problemstilling**

Hvilken effekt har egeninduserte individuelle endringer av intensitetsdistribusjon i treningen på aerob kapasitet hos allerede godt trente langrennsløpere?

## 2 Metode

### 2.1 Studiedesign

Studien er en oppfølgingsstudie av «No change – no gain» - studien til Johansen et al. (2020a). I Johansen et al. (2020a) endret ikke deltakerne treningen signifikant i løpet av perioden. De seks rekrutterte skiløperne i denne studien ble instruert til å følge sine egne treningsprogram, som ble utarbeidet av dem selv eller i samhandling med deres trenere. Denne studien baserer seg på mange av de samme dataene som en vitenskapelig artikkel, som er under publikasjon. Studien inneholder seks godt trente skiløpere med  $VO_{2max}$ -verdier i løping på  $57.6 \pm 3.8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  og  $64.4 \pm 2.7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  for henholdsvis kvinner og menn (målt i april 2019). Etter testing i februar 2020 valgte deltakerne frivillig å endre treningskarakteristika fram til august 2020. De var selv motiverte for å endre volum og intensitet i treningen, også øke mengde med HIT. Testpersonen diskuterte kun trening med testpersonene (TP), mens det primært var utøverne selv i samråd med sine respektive trenere, som utførte endringer i sammensetningen av treningsvolum og intensitet i løpet av perioden. Treningen ble delt inn i tre perioder der første periode ( $P_1$ ) fra februar 2019 til februar 2020 var treningen som ble gjennomført og presentert i Johansen et al. (2020a), og oppfølgingsperioden ble delt inn i den andre perioden ( $P_2$ ) fra februar 2020 til juli 2020 og den tredje perioden fra juli 2020 til august 2020 ( $P_3$ ). Hovedmålet med studien var å undersøke effekten av endringer i treningssammensetningen med tanke på å utvikle  $VO_{2max}$  og prestasjon i staketest på rulleski.

*Tabell 1. TP karakteristika i februar 2020.*

TP	Kjønn	Alder (år)	Vekt (kg)	Høyde (cm)
1	Mann	31	75.9	183
2	Kvinne	32	76.5	175
3	Mann	17	72.2	182
4	Kvinne	24	61.4	175
5	Kvinne	26	69.1	174
6	Mann	25	71.1	175
Gjennomsnitt $\pm$ SD		25.8 $\pm$ 5.4	71.0 $\pm$ 5.5	177.3 $\pm$ 4.0
CV (%)		21.0	7.7	2.3

TP = testperson; SD = standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %

## 2.2 Treningsregistrering

Alle deltakere registrerte treningen i digitale treningsdagbøker, enten i Olympiatoppens treningsdagbok eller i Polar Flow. Samtlige deltakere hadde minst ett års erfaring med føring av digital treningsdagbok før studiet satte i gang, og hadde fått grundige instruksjoner i hvordan dagboken skulle føres gjennom deltakelse i studien til Johansen et al (2020a). All trening var systematisert etter- og basert på treningsmodalitet og treningsintensitet. All trening ble ført på samme måte i alle delperioder, og all utholdenhetstrening var monitorert med hjertefrekvensmåler. Alle treningsregistreringer i dagbok og alle hjertefrekvenskurver fra hver økt ble kontrollert av prosjektets leder. Under treningsmodalitet var det utholdenhet, styrke, hurtighet/spenst eller annet, og treningsaktivitetene var løping, rulleski, ski eller sykling. Rulleski og langrenn på snø ble ført opp som skispesifikk trening, mens løping og sykling ble definert som uspesifikk trening. Utholdenhetstreningen ble målt etter «time in zone»-prinsippet og kategorisert i tre intensitetssoner: lavintensitetstrening (LIT;  $\leq 81\%$  av  $HF_{max}$ ), trening med moderat intensitet (MIT;  $82-87\%$  av  $HF_{max}$ ) og høyintensitetstrening (HIT;  $\geq 88\%$  av  $HF_{max}$ ). Alle utholdenhetstreninger og konkurranser ble gjennomført med deltakernes personlige hjertefrekvensmonitører. Dette samhandler med prosedyrene brukt i Støren et al. (2008), Sunde et al. (2010) og Johansen et al. (2020a).

Styrketreningen ble stort sett gjennomført som maksimal styrketrening eller generell styrketrening. Maksimal styrketrening kan gjennomføres med 1-6 repetisjoner i eksempelvis øvelser som knebøy, chins, dips, markløft. Den generelle styrketreningen var gjennomført med 10-30 repetisjoner med et hovedfokus på å øke stabilitet og den generelle styrken i mage og overkropp. Tiden brukt på styrketrening ble målt fra første sett til siste sett, inkludert pauser mellom øvelser og sett. Spensttrening var kvantifisert på samme måte. Hurtighetstrening var hovedsakelig gjennomført i løpet av skispesifikke LIT- og MIT-økter. Antall hurtighetsdrag ble multiplisert med 1.5min siden perioden etter hver spurt var gjennomført på veldig lav intensitet. Målingen av styrke, spenst- og hurtighet er i samsvar med kvantifiserende prosedyrer brukt i Sandbakk et al. (2016).

## 2.3 Testprotokoll

Testbatteriet ble gjennomført over to dager. Det ble gitt en innføring i utførelse før alle testene. På rulleskitestene på tredemølla ble utøverne sikret via et snorsystem i taket, og/eller ved at en av de testansvarlige sikret ved å holde en hånd bak testpersonen(e). Testen ble avsluttet hvis testpersonen kom for langt bak på mølla, og ikke kom seg frem igjen etter at de testansvarlige ga signal om det.

Dag 1: Testing etter rekkefølge: Squat jump (SJ), countermovement jump (CMJ), countermovement jump med armsving (CMJas),  $VO_{2max}$  løping og testløp rulleski staking (5,64km).

Dag 2: Testing etter rekkefølge: Arbeidsøkonomi staking (Cs) og LT,  $VO_{2peak}$  staking, 1RM 90° knebøy og 1RM nedtrekk.

Testløpet på rulleski ble gjennomført i egen rulleskiløype ved Nordbøåsen i Bø i Telemark, og resterende tester ble gjennomført ved idrettsfysiologisk testlaboratorium på Universitet i Sørøst-Norge, avdeling Bø i Telemark.

### 2.3.1 Dag 1 – protokoll

Høyde ble registrert med standard måleband festet til vegg, og kroppsvekt ble målt med en digital vekt (Tefal Sensitive Computer Pp 6010, Frankrike). Hoppøydene (SJ, CMJ og CMJas) ble målt med en kraftplattform (Ergotest Innovation, Porsgrunn, Norway), som ble kalibrert etter fabrikkmanualens instruksjoner før hver test.

#### 2.3.1.1 Squat jump (SJ)

Testpersoner ble instruert til å ha utgangsstilling med 90° i kneleddet mellom lår og legg, hender plassert på hofta med kroppen i en fremoverlent posisjon. Hoppet ble bedt om å bli utført med maksimal kontraksjon, uten bruk av elastiske komponenter. Hoppet ble ikke godkjent ved ekstensjon i lår/legg, altså utnyttelse av de elastiske komponentene. Minimum tre og maksimum seks hopp ble gjennomført av testpersonene, der det høyeste registrerte hoppet ble tellende.

### 2.3.1.2 *Countermovement jump (CMJ)*

Etter SJ var det tre minutter hvile før CMJ ble gjennomført. Utgangsposisjonen for CMJ er en oppreist posisjon med hender plassert på hofta, etterfulgt av et maksimalt hopp i en plyometrisk bevegelse (ekstensjonsfase med eksentrisk arbeid av muskulatur med påfølgende konsentrisk fase). I kontrast til SJ vil det i CMJ bli målt testpersoners utnyttelse av de elastiske komponentene.

### 2.3.1.3 *Countermovement jump med armsving (CMJas)*

CMJas ble gjennomført med samme protokoll som CMJ, men også med bruk av armene til å flytte tyngdepunktet.

### 2.3.1.4 *VO<sub>2max</sub> løping*

Etter minst 20min hvile etter spensttesten startet deltakerne med ti minutters egenstyrt oppvarming før VO<sub>2max</sub>-testen i løping. Testpersonene startet med 6% stigning og hastighet 7-8 km·t<sup>-1</sup> for kvinner og 9-10km·t<sup>-1</sup> for menn. Testen økte med 1% stigning hvert 30. sekund til 8% stigning var nådd, for deretter å øke med 0.5km·t<sup>-1</sup> hvert 30. sekund etter det. Deltakerne ble bedt om å løpe til frivillig utmattelse, der gjennomsnittet av de tre høyeste VO<sub>2</sub>-målingene ble brukt til å regne ut VO<sub>2max</sub>. For å evaluere om VO<sub>2max</sub> ble nådd ble det sett etter om VO<sub>2</sub>-kurven flatet ut, HF ≥ 98% av HF<sub>max</sub>, respiratory exchange ratio (RER) ≥ 1.05, blodlaktatkonsentrasjon ≥ 8.0 mmol·L<sup>-1</sup>, opplevd anstrengelse (RPE – rate of perceived exertion; Borgs skala 6-20) ≥ 17.

Testen av VO<sub>2max</sub> løping ble gjennomført på tredemølle av typen Woodway PPS55 sport (Waukesha, WI, USA), og tredemølla ble kalibrert til riktig hastighet og stigning rett før teststart. Oksygenmålingene ble gjort med apparatet Cortex Metalyzer II (CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig, Germany), der retningslinjene for kalibrering var at det ble brukt 16% O<sub>2</sub>, 4% CO<sub>2</sub> kalibreringsgass og 3L volum kalibreringspumpe. HF ble registrert med testpersoners egne HF-målere eller av Polar s610 HR monitors (Kempele, Finland).



### 2.3.1.5 Prestasjonsløp staking (5.64km)

Etter minst en times pause ble staketesten gjennomført i en asfaltert rulleskiløype på 5.64km (seks runder á 940m), der hver runde har en høydeforskjell på 11m. Det ble markert med kjebler så alle gikk i riktig retning og like langt. Deltakerne benyttet seg av egne rulleski med 2'er hjul, samt egne skisko og staver. Testen ble organisert som en standard langrennskonkurranse med intervallstart med 30s intervall, og med inndeling i puljer på fire til fem deltakere for å forhindre at det ble dannet rekker av deltakere som gikk bak hverandre. Det var kun tillatt å benytte seg av staketeknikken, og for å sikre at det ble et individuelt løp ble det gitt instruksjoner om at det ikke var lov å ligge i dragsuget til den du eventuelt passerte eller ble passert av. Det ble gitt beskjed om at samme regler som i temposykling var gjeldende, som vil si at testpersonene måtte holde avstand til hverandre på minst ti meter. Startgruppene var kjønnsdelte og startrekkefølgen innad i gruppene var tilfeldig valgt. Underveis ble det ikke gitt sekundering og deltakerne fikk verbal oppmuntring av trener og/eller testleder, men det var ikke tillatt å gi tekniske tilbakemeldinger under gjennomføringen.

Siden testene er gjennomført på ulike dager vil det være variasjon i temperatur og ulik grad av fuktighet i asfalten, som kan påvirke rullemotstanden til rulleskiene. Med tanke på disse forskjellene ble det gjennomført en kalibreringstest for å kalkulere en korreksjonsfaktor. En av testlederne gjennomførte en rulletest over 50m i slak utforbakke rett etter prestasjonstesten hver testdag. Rulletesten ble gjennomført med de samme rulleskiene hver gang, og testen ble gjennomført ti ganger for å sikre god oppvarming av hjulene. Gjennomsnittet av resultatene til de tre siste gjennomføringene ble brukt som endelig resultat til å kalkulere en korreksjonsfaktor. Målingene ble utført med fotocellestyr (Muclelab system, Erogtest Inovation, Porsgrunn, Norway).

### 2.3.2 Dag 2 - protokoll

Testpersoners kroppsvekt ble målt igjen for å oppdage eventuelle endringer. Testpersonene fikk utdelt samme par rulleski (Swenor Fibreglass cap Classic) med samme bindingssystem (NNN, Rottefella, Klokkekarstua, Norway), og stilte med egne staver og skisko. Tredemølla som ble brukt under forsøket er spesiallaget for staking, og

er av merket Rodby RL2500E. Laktatmålingene ble gjort med bruk av Lactate Scout+ (Senslab GmbH, Leipzig, ry Inc., Kyoto, Japan), et apparat som benytter helblodsmålinger.

#### 2.3.2.1 *LT og Cs*

Før testen fikk hver deltaker cirka 20 minutter tilvenning på lav intensitet (<70% av  $HF_{max}$ ) på tredemølla. Etter oppvarming ble det gjennomført en submaksimal test av LT og Cs i samme sekvens, som ble gjennomført over tre til seks fireminutters drag med økning på  $1-3 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  per drag, helt til LT var nådd. Laktatmålinger ble foretatt etter hvert drag da tredemøllen ble stoppet, HF ble målt under hele sekvensen og  $VO_2$ -målingene ble notert ned etter tre minutter og med to påfølgende målinger med 20s intervall. Gjennomsnittsmålingen av disse tre målingene (70-90% av  $VO_{2max}$ ) ble brukt til å regne ut Cs.

Tredemølla startet på  $10-11.5 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  for menn og  $6-8 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  for kvinner, med 4% stigning for begge kjønn, som var estimert hastighet og stigning til 60 % av  $HF_{max}$ . Det første draget ble brukt til måling av hvileverdi for å estimere LT. Et eksempel kan være hvis en hvileverdi etter første draget er på  $1.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} + 2.3 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , vil gi LT på  $3.8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Dette er i tråd med protokollen som er beskrevet og diskutert i Støren et al. (2014) og Sunde et al. (2019).

#### 2.3.2.2 *$VO_{2peak}$ staking*

Fem minutter hvile ble tillagt etter den submaksimale testen for å kartlegge LT og Cs. Dette før en utmattelsestest i staking, som ble gjennomført etter RAMP protokoll for å finne  $VO_{2peak}$  i staking. Startintensiteten ble satt til 6% stigning og  $7 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  for begge kjønn, så økte man med  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  hvert 60. sekund. Stigningen var konstant under hele testen. Skiløperne ble oppfordret til å holde ut så lenge de klarte. De ble motivert underveis, og testen ble avsluttet da deltakerne passerte en oppmerket strek en meter bak startposisjonen på mølla, eller ga tydelige signaler på at de ville avslutte testen. Tid til utmattelse ble registrert og gjennomsnittet til de to høyeste  $VO_2$ -målingene ble brukt for å definere  $VO_{2peak}$  i staking. Maksimal aerob hastighet (MAS) i staking ble regnet ut

som  $VO_{2peak}$  staking/Cs, som er samme måte som er presentert av Sunde et al. (2019) og Johansen et al. (2020a).

### 2.3.2.3 1RM knebøy og 1 RM nedtrekk

Etter testene på stakemølla hvilte testpersonene en time før testene av maksimal styrke (1RM) og effekt (W) i knebøy og nedtrekk fant sted. En lang pause var satt opp for å være helt sikker på å oppnå valide resultater på testene. For knebøy ble det brukt et knebøyapparat type Smith-maskin (Smith-machine, PreCore, Woodinville, USA), og nedtrekk ble utført i en Gym2000 pull-down machine (Gym2000 AS, Vikersund, Norway). Wattmålingene ble utført av The MuscleLab system (Ergotest Innovation, Porsgrunn, Norway) gjennom å benytte seg av hastighets- og lengdesensor fra dette systemet. Arbeid per tid ( $Nm \cdot s^{-1}$ ) eller W ble regnet ut ved å vite ytre kraft (antall kg løftet), arbeidsvei for løftet og hastigheten (tiden løftet tok).

Først ut var 1RM knebøy, så omtrent fem minutter hvile før 1RM nedtrekk. Det ble for begge øvelsene gjennomført en oppvarmingsprotokoll med fire sett på henholdsvis 10, 5, 3 og 2 repetisjoner med submaksimale belastninger tilsvarende 50%, 60%, 70% og 80% av estimert 1RM, der det var tre minutters pause mellom hvert sett. Alle repetisjoner ble utført med en rolig eksentrisk fase med et fullstendig stopp i laveste posisjon (knebøy, stoppet ved  $90^\circ$  i kneleddet mellom lår og legg) eller i øverste posisjon (nedtrekk). Med bakgrunn i måling av effekt (W) ble deltakerne bedt om og oppmuntret underveis til å utføre samtlige repetisjoner med maksimal innsats (Raastad et al., 2010). Testingen i nedtrekk ble gjennomført med et skulderbredt grep, vinkelrette bein ned i gulvet og nedtrekket måtte gjennomføres rett under haken for å få godkjent løftet. Mellom hvert 1RM forsøk var det tre minutters pause, og belastningen økte med 2.5-10 kg basert på wattmålinger og testpersonens subjektive følelse, helt til den respektive deltaker nådde sitt nivå. Under pretesten ble løftene beregnet ut fra estimert 1RM, mens ved posttesten tok man utgangspunkt i pretestens resultater.

### 2.3.3 Statistiske analyser

Deskriptive analyser, normalitetsanalyser, bivariate korrelasjonsanalyser og regresjonsanalyser ble gjennomført i programmet SPSS versjon 26 (Statistical package for Social Sciences, IBM, Chicago, IL, United States) og i Office Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Resultatene fra innsamlet data forekommer individuelt og samlet med gjennomsnitt  $\pm$  SD for grupperesultater. QQ-plots og normalitetstest (Shapiro-Wilk) ble brukt til å evaluere nøkkelvariablers normalitetsfordeling. Selv med en ikke-signifikant Shapiro-Wilk test, som indikerer normalfordeling, vil det lave antallet testpersoner i denne studien gjøre det vanskelig å evaluere om populasjonen er normalfordelt eller ikke. For å se om endringer var signifikante ble det benyttet parret t-test. I korrelasjonsanalysene ble standard error of the estimate (SEE) benyttet for å vise det praktiske presisjonsnivået i eventuelle sammenhenger. Signifikansnivået ble satt til  $p < 0.05$  i tohalede tester.

### 3 RESULTATER

#### 3.1 Treningskarakteristika

Totalt er det samlet inn treningsdata fra 4293 treningsøkter i perioden fra februar 2019 til august 2020. Deltakerne i studien viste interindividuelle forskjeller med gjennomsnittlig 6-12 treningsøkter i uken. Treningsperiodene er delt inn i tre; februar 2019 – februar 2020 ( $P_1$ ), februar 2020 – juli 2020 ( $P_2$ ) og juli 2020 – august 2020 ( $P_3$ ). Gruppevis var det ingen signifikant forskjell på det totale treningsvolumet mellom  $P_1$  og  $P_2$ , men en signifikant forskjell mellom henholdsvis  $P_2$  og  $P_3$  på 14.9% ( $p < 0,05$ ), og gjennomsnittet av ( $P_1+P_2$ ) og  $P_3$  på 18.2% ( $p < 0,05$ ). Fire av seks skiløpere økte den totale treningsmengden med 17.1-38.0 % og 13.5-48.4 % mellom henholdsvis  $P_2$  og  $P_3$ , og gjennomsnittet av ( $P_1+P_2$ ) og  $P_3$ . TP3 økte kun treningen med 2.2 % (gjennomsnittet av  $P_1+P_2 \rightarrow P_3$ ), men reduserte treningsmengden fra  $P_2$  til  $P_3$  med 3.9 %. TP2 reduserte treningsmengden med henholdsvis 19 % og 15.6 % (tabell 2).

Tabell 2: Treningsperiodene, totalverdier og deltaforskjeller, i min·uke<sup>-1</sup> og %.

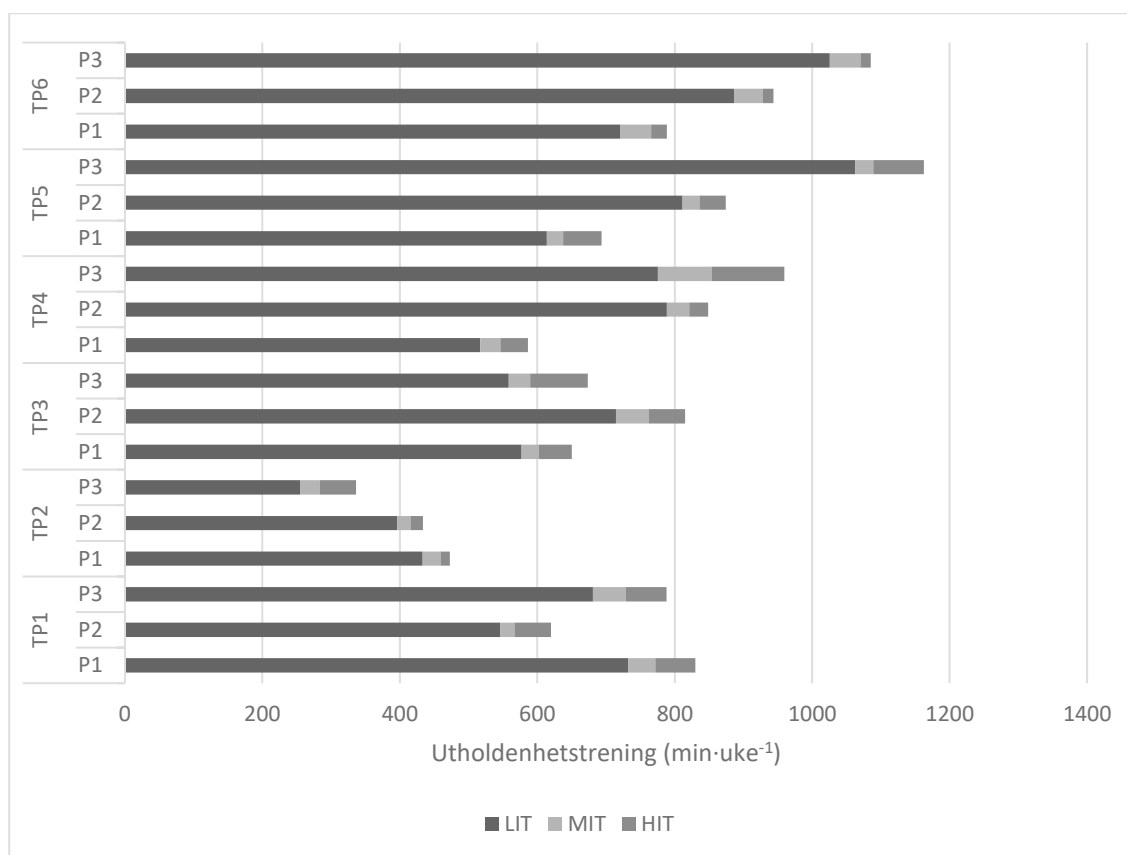
TP	$P_1$	$P_2$	$P_1+P_2$ gj.snitt	$P_3$	$\Delta$ ( $P_1 \rightarrow P_2$ ) (%)	$\Delta$ ( $P_2 \rightarrow P_3$ ) (%)	$\Delta$ (gj.snitt $P_1+P_2 \rightarrow P_3$ ) (%)
1	891.7	623.1	757.4	859.8	-30.1	38.0	13.5
2	508.6	469.5	489.1	396.1	-7.7	-15.6	-19.0
3	903.7	1026.7	965.2	986.4	13.6	-3.9	2.2
4	668.2	911.9	790.1	1068.1	36.5	17.1	35.2
5	738.9	916.5	827.7	1228.5	24.0	34.0	48.4
6	866.1	1016.8	941.5	1215.2	17.4	19.5	29.1
Gj.snitt $\pm$	762.9 $\pm$	827.4 $\pm$	795.1 $\pm$	859,0 $\pm$	9.0 $\pm$	14.9 $\pm$	18.2 $\pm$
SD	155.7	228.3	171.2	309.1	24.0	21.0*	24.4*
CV	20.4	27.6	21.5	36	266.7	141.6	134.2

SD = standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %;  $P_1+P_2$  gj.snitt = gjennomsnittet av totalt treningsvolum i  $P_1+P_2$  i min·uke<sup>-1</sup>;  $\Delta(P_1 \rightarrow P_2)$  % = forskjellen i totalt treningsvolum mellom  $P_1$  og  $P_2$  i %;  $\Delta(P_2 \rightarrow P_3)$  % = forskjellen i totalt treningsvolum mellom  $P_2$  og  $P_3$  i %;  $\Delta(P_3 \rightarrow$  gj.snitt av  $P_1+P_2)$  % = forskjellen i totalt treningsvolum mellom gjennomsnittet av  $P_1+P_2$  og  $P_3$  i %; \* $p < 0,05$  forskjell

Tabell 3:  $P_1$ , trening februar 2019-februar 2020, i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$  og %.

TP	TOT	Uth. (%)	LIT	MIT	HIT	LIT (%)	MIT (%)	HIT (%)
1	891.7	93.1	732.0	39.6	58.5	88.2	4.8	7.0
2	508.6	93.0	432.9	26.2	13.8	91.5	5.5	2.9
3	903.7	72.0	577.1	25.2	48.1	88.7	3.9	7.4
4	668.2	87.8	517.0	29.4	40.0	88.2	5.0	6.8
5	738.9	93.8	613.7	23.8	55.8	88.5	3.4	8.0
6	866.1	91.0	721.0	44.7	22.8	91.4	5.7	2.9
Gj.snitt $\pm$	762.9 $\pm$	88.4 $\pm$	599.0 $\pm$	31.5 $\pm$	39.8 $\pm$	89.4 $\pm$	4.7 $\pm$	5.9 $\pm$
SD	155.7	8.4	116.3	8.6	18.1	1.6	0.9	2.3
CV (%)	20.4	9.5	19.4	27.4	45.5	1.8	19.0	39.7

Gj.snitt  $\pm$  SD = gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %; TOT = total treningsvolum i  $P_1$  i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$ ; Uth. (%) = utholdenhetstrening som prosentdel av total treningsmengde i  $P_1$ ; LIT = lavintensitetstrening; MIT = moderat intensitetstrening; HIT=høyintensitetstrening (samtlige intensitetssoner vises både i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$  og i %).



Figur 1: Illustrasjon over total utholdenhetstrening, lavintensitetstrening (LIT), moderat intensitetstrening (MIT) og høyintensiv trening (HIT) i treningsperiodene  $P_1$ ,  $P_2$  og  $P_3$  i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$ , for samtlige testpersoner (TP).

P<sub>1</sub> viste en gjennomsnittlig fordeling for de seks skiløperne med et totalt treningsvolum på  $762.9 \pm 155.7 \text{ min}\cdot\text{uke}^{-1}$ , der utholdenhetstreningen utgjorde  $88.4 \pm 8.4\%$  av treningen. Av utholdenhetstreningen ble  $89.4 \pm 1.6\%$  gjennomført som LIT,  $4.7 \pm 0.9\%$  som MIT og  $5.9 \pm 2.3\%$  som HIT (tabell 3). P<sub>2</sub> viste en gjennomsnittlig fordeling for de seks skiløperne med et totalt treningsvolum på  $827.4 \pm 228.3 \text{ min}\cdot\text{uke}^{-1}$ , der utholdenhetstreningen utgjorde  $92.1 \pm 6.8\%$  av treningen. Av utholdenhetstreningen ble  $91.1 \pm 2.6\%$  gjennomført som LIT,  $4.1 \pm 1.1\%$  som MIT og  $4.7 \pm 2.4\%$  som HIT (tabell 4). P<sub>3</sub> viste de største forandringene, og viste en gjennomsnittlig fordeling for de seks skiløperne med et totalt treningsvolum på  $959.0 \pm 309.1$  treningstimer i uka, der utholdenhetstreningen utgjorde  $86.4 \pm 9.4\%$ . Av utholdenhetstreningen var  $85.3 \pm 7.0\%$  gjennomført som LIT,  $5.7 \pm 2.5\%$  som MIT og  $9.0 \pm 5.0\%$  som HIT (tabell 5).

Tabell 4: P<sub>2</sub>, trening februar 2020-juli 2020, i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$  og %.

TP	TOT	Uth. (%)	LIT	MIT	HIT	LIT (%)	MIT (%)	HIT (%)
1	623.1	99.5	546.2	20.8	52.9	88.1	3.4	8.5
2	469.5	92.3	396.3	19.3	17.8	91.4	4.5	4.1
3	1026.7	79.4	714.3	48.0	52.6	87.7	5.9	6.5
4	911.9	93.1	788.5	32.7	27.6	92.9	3.9	3.3
5	916.5	95.4	811.5	24.5	38.2	92.8	2.8	4.4
6	1016.8	92.8	886.2	41.6	15.9	93.9	4.4	1.7
Gj.snitt ±	827,4 ±	92,1 ±	690,5 ±	31.2 ±	34.2 ±	91.1 ±	4.1 ±	4.7 ±
SD	228,3	6,8	184,7	11.7	16.4	2.6	1.1	2.4
CV (%)	27,6	7,3	26,7	37.6	48.1	2.9	25.9	51.2

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %; TOT = totalt treningsvolum i P<sub>2</sub> i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$ ; Uth. (%) = utholdenhetstrening som prosentdel av total treningsmengde i P<sub>2</sub>; LIT = lavintensitetstrening; MIT = moderat intensitetstrening; HIT=høyintensitetstrening (samtlige intensitetssoner vises både i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$  og i %).

Tabell 5: P<sub>3</sub>, trening juli 2020-august 2020, i min·uke<sup>-1</sup> og %.

TP	Total	Uth. (%)	LIT	MIT	HIT	LIT (%)	MIT (%)	HIT (%)
1	859.8	91.7	681.1	47.7	59.3	86.4	6.1	7.5
2	396.1	84.9	254.5	29.3	52.4	75.7	8.7	15.6
3	986.4	68.3	558.6	31.1	83.9	82.9	4.6	12.5
4	1068.1	89.8	775.7	78.3	105.3	80.9	8.2	11.0
5	1228.5	94.6	1063.0	26.1	73.5	91.4	2.2	6.3
6	1215.2	89.3	1025.7	44.8	14.5	94.5	4.1	1.3
Gj.snitt ±	959.0 ±	86.4 ±	726.4 ±	42.9 ±	64.8 ±	85.3 ±	5.7 ±	9.0 ±
SD	309.1	9.4	302.7	19.4	31.0	7.0	2.5	5.0
CV (%)	32.2	10.9	41.7	45.3	47.8	8.1	43.9	55.9

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %; TOT = totalt treningsvolum i P<sub>3</sub> i min·uke<sup>-1</sup>; Uth. (%) = utholdenhetstrening som prosentdel av total treningsmengde i P<sub>3</sub>; LIT = lavintensitetstrening; MIT = moderat intensitetstrening; HIT=høyintensitetstrening (samtlige intensitetssoner vises både i min·uke<sup>-1</sup> og i %).

Det var signifikant forskjell i volumet av LIT mellom henholdsvis P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> på 2.0% (p<0,05), og P<sub>3</sub> og gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> på 81.7% (p<0,01), men ingen signifikant ulikhet mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub>. HIT-volumet viste en signifikant forskjell mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> på -5.7% (p<0,05), men ingen signifikant forskjell mellom henholdsvis P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> eller gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub>. Dette til tross for en økning av HIT med 12.1 – 281.5% (6.4 – 77.7 min·uke<sup>-1</sup>) for TP1-5 mellom P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub>, og en økning på 6.5 – 231.6 % (3.6 – 71.5 min·uke<sup>-1</sup>) for TP1-5 i P<sub>3</sub> sammenlignet med gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> (tabell 6). I de samme periodene reduserte TP6 imidlertid HIT-volumet med henholdsvis 8.8% (minimalt; 1.4 min·uke<sup>-1</sup>) og 25.4% (kun 4.9 min·uke<sup>-1</sup>), og økte samtidig LIT-volumet med henholdsvis 15.7 % (139.5 min·uke<sup>-1</sup>) og 27.6 % (222.1 min·uke<sup>-1</sup>) (tabell 6 og 7). TP2 og TP3 reduserte LIT-volumet fra P<sub>2</sub> til P<sub>3</sub> med henholdsvis 35.8 % (1418 min·uke<sup>-1</sup>) og 21.8% (155.7 min·uke<sup>-1</sup>), og 38.6% (160.1 min·uke<sup>-1</sup>) og 13.5% (87.1 min·uke<sup>-1</sup>) i Δ (P<sub>3</sub> – gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub>). TP4 opprettholdt LIT-volumet fra P<sub>1</sub> til P<sub>2</sub>, men økte volumet fra Δ (P<sub>3</sub> – gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub>) med henholdsvis 18.8 % (122.9 min·uke<sup>-1</sup>) i LIT, og 211.5% (71.5 min·uke<sup>-1</sup>) i HIT. Resten av skiløperne økte mengden av LIT med 6.6 – 49.2%, som tilsvarer 42.0 – 350.4 min·uke<sup>-1</sup> (tabell 6 og 7). MIT viste ingen signifikant forskjell mellom periodene.



Tabell 6: Forskjeller i LIT mellom treningsperiodene i % og min-uke<sup>-1</sup>

TP	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> gj.snitt	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
		(P <sub>1</sub> →P <sub>2</sub> )	(P <sub>1</sub> →P <sub>2</sub> )	(P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(Gj.snitt P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(Gj.snitt P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )
			(%)		(%)		(%)
1	639.1	-185.8	-25.4	134.9	24.7	42.0	6.6
2	414.6	-36.6	-8.5	-141.8	-35.8	-160.1	-38.6
3	645.7	137.2	23.8	-155.7	-21.8	-87.1	-13.5
4	652.8	271.5	52.5	-12.8	-1.6	122.9	18.8
5	712.6	197.8	32.2	251.5	31.0	350.4	49.2
6	803.6	165.2	22.9	139.5	15.7	222.1	27.6
Gj. snitt ±	644.7 ±	91.6 ±	16,3 ±	35,9 ±	2,0 ±	81.7 ±	8.4 ±
SD	128.8	170.0	28,3	165,9*	26,7*	190.9**	31.1**
CV (%)	20.0	185.7	174.2	461.8	1310.9	233.6	372.3

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV (%) = variasjonskoeffisienten i %; P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> gj.snitt = gjennomsnittet av LIT-volumet i P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>1</sub>→P<sub>2</sub>)= forskjellen i LIT-volumet mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>1</sub>→P<sub>2</sub>) (%) = forskjellen i LIT-volumet mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i %; ; Δ(P<sub>2</sub>→P<sub>3</sub>)= forskjellen i LIT-volumet mellom P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>2</sub>→P<sub>3</sub>) (%) = forskjellen i LIT-volumet mellom P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i %; Δ (Gj.snitt P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> →P<sub>3</sub>) = forskjellen i LIT-volumet mellom gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(Gj.snitt P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> →P<sub>3</sub>) (%) = forskjellen i LIT-volumet mellom gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i %; \*p<0.05 forskjell

Tabell 7: Forskjeller i HIT mellom treningsperiodene i % og min-uke<sup>-1</sup>

TP	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> gj.snitt	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
		(P <sub>1</sub> →P <sub>2</sub> )	(P <sub>1</sub> →P <sub>2</sub> )	(P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(Gj.snitt P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )	(Gj.snitt P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> →P <sub>3</sub> )
			(%)		(%)		(%)
1	55.7	-5.6	-9.6	6.4	12.1	3.6	6.5
2	15.8	4.0	29.0	34.6	194.4	36.6	231.6
3	50.4	4.5	9.4	31.3	59.5	33.5	66.5
4	33.8	-12.4	-31.0	77.7	281.5	71.5	211.5
5	47.0	-17.6	-31.5	35.3	92.4	26.5	56.4
6	19.4	-6.9	-30.3	-1.4	-8.8	-4.9	-25.4
Gj.snitt ±	37.0 ±	-5.7 ±	-10.7 ±	30.7 ±	105.2 ±	27.8 ±	91.3 ±
SD	16.7	8.8*	25.3*	27.8	112.2	27.1	106.5
CV (%)	45.2	-155.1	-237.3	90.7	106.7	97.4	116.7

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV (%) = variasjonskoeffisienten i %; P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> gj.snitt = gjennomsnittet av HIT-volumet i P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>1</sub>→P<sub>2</sub>)= forskjellen i HIT-volumet mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>1</sub>→P<sub>2</sub>) (%) = forskjellen i HIT-volumet mellom P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> i %; ; Δ(P<sub>2</sub>→P<sub>3</sub>)= forskjellen i HIT-volumet mellom P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(P<sub>2</sub>→P<sub>3</sub>) (%) = forskjellen i HIT-volumet mellom P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i %; Δ (Gj.snitt P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> →P<sub>3</sub>) = forskjellen i HIT-volumet mellom gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i min-uke<sup>-1</sup>; Δ(Gj.snitt P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub> →P<sub>3</sub>) (%) = forskjellen i HIT-volumet mellom gjennomsnittet av P<sub>1</sub> og P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> i %; \*p<0.05 forskjell

### 3.2 Utvikling av $VO_{2max}$

På individnivå økte fem av seks skiløpere  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ), fra 3.6 % som minste økning til 13.2 % som størst økning, mens en av løperne hadde en liten tilbakegang på 1.5 % (tabell 8).  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) viste ingen signifikant skilnad for de seks langrennsløperne i målingene fra april 2019 og august 2019, men signifikant forbedring ble observert på gruppenivå mellom henholdsvis starten av  $P_2$  i februar 2020 og etter  $P_3$  i august 2020 på 7.5 % ( $p < 0,05$ ), samt  $\Delta VO_{2max}$  i august 2020 sammenlignet med gjennomsnittet av  $VO_{2max}$ -målingene på 7.8 % ( $p < 0,01$ ) (tabell 8). TP1-4 og TP6 økte  $\Delta VO_{2max}$  og gruppevis økte  $\Delta VO_{2max}$  med  $7.8 \pm 5.8\%$  uttrykt som  $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ,  $7.6 \pm 5.3\%$  uttrykt som  $mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$  og  $7.1 \pm 4.5\%$  uttrykt som  $L \cdot min^{-1}$  (tabell 8-10). Størst forbedring var det for TP 1-3 og TP 6 (7.7 – 13.2%), mens TP4 hadde en forbedring på 3.6 % i  $VO_{2max}$  (tabell 8). TP5 hadde en liten nedgang på 1.5 % i  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ).

Tabell 8: Utvikling  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ )

TP	April 2019	August 2019	Oktober 2019	Februar 2020	Gj.snitt 2019- 2020	August 2020	$\Delta VO_{2max}$ (feb20→ aug20) (%)	$\Delta VO_{2max}$ (Gj.snitt→ aug20) (%)
1	66.1	68.9	69.5	63.6	67.0	72.2	13.5	7.7
2	56.5	64.1	62.3	61.3	61.1	68.3	11.4	11.9
3	65.8	70.8	71.2	69.0	69.2	77.5	12.3	12.0
4	54.5	59.5		57.8	57.3	59.3	2.6	3.6
5	61.8	63.2	61.1	63.6	62.4	61.5	-3.3	-1.5
6	61.3	72.4	71.4	72.2	69.3	78.5	8.7	13.2
Gj.snitt ± SD	61.0 ± 4.7	66.5 ± 5.0	67.1 ± 5.0	64.6 ± 5.2	64.4 ± 4.9	69.6 ± 8.0	7.5 ± 6.6*	7.8 ± 5.8*
CV (%)	7.8	7.5	7.5	8.1	7.6	11.5	87.3	74.2

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %;  $\Delta VO_{2max}$  (feb20→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom februar 2020 og august 2020 i %;  $\Delta VO_{2max}$  (Gj.snitt→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom gjennomsnittet av  $VO_{2max}$  fra april 2019-februar 2020 og  $VO_{2max}$  i august 2020 %; \* $p < 0.05$  forskjell

Tabell 9: Utvikling  $VO_{2max}$  ( $mL \cdot kg^{-0,67} \cdot min^{-1}$ )

TP	April 2019	August 2019	Oktober 2019	Februar 2020	Gj.snitt 2019- 2020	August 2020	$\Delta VO_{2max}$ (feb20→ aug20) (%)	$\Delta VO_{2max}$ (Gj.snitt→ aug20) (%)
1	278.8	284.6	287.1	265.4	279.0	298.5	12.5	7.0
2	236.1	266.3	261.7	256.5	255.2	284.9	11.1	11.7
3	265.3	283.4	287.5	283.2	279.9	313.7	10.8	12.1
4	214.3	230.4		224.9	223.2	232.8	3.5	4.3
5	249.7	256.1	247.9	257.3	252.8	249.9	-2.9	-1.1
6	259.8	297.7	292.3	294.9	286.2	319.1	8.2	11.5
Gj.snitt ± SD	250.7 ± 22.9	269.8 ± 24.2	275.3 ± 19.4	263.7 ± 24.3	262.7 ± 23.8	283.2 ± 34.9	7.2 ± 5.9*	7.6 ± 5.3*
CV (%)	9.1	9.0	7.1	9.2	9.1	12.3	81.5	69.7

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %;  $\Delta VO_{2max}$  (feb20→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom februar 2020 og august 2020 i %;  $\Delta VO_{2max}$  (Gj.snitt→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom gjennomsnittet av  $VO_{2max}$  fra april 2019-februar 2020 og  $VO_{2max}$  i august 2020 %; \*p<0.05 forskjell

Tabell 10: Utvikling  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ )

TP	April 2019	August 2019	Oktober 2019	Februar 2020	Gj.snitt 2019- 2020	August 2020	$\Delta VO_{2max}$ (feb20→ aug20) (%)	$\Delta VO_{2max}$ (Gj.snitt→ aug20) (%)
1	5.18	5.07	5.12	4.83	5.05	5.33	10.4	5.5
2	4.31	4.80	4.82	4.69	4.66	5.18	10.4	11.3
3	4.50	4.74	4.89	4.98	4.78	5.36	7.6	12.2
4	3.46	3.60		3.55	3.54	3.74	5.4	5.7
5	4.25	4.39	4.26	4.39	4.32	4.31	-1.8	-0.3
6	4.87	5.26	5.11	5.13	5.09	5.50	7.2	8.0
Gj.snitt ± SD	4.4 ± 0.6	4.6 ± 0.6	4.8 ± 0.4	4.6 ± 0.6	4.6 ± 0.6	4.9 ± 0.7	6.5 ± 4.5*	7.1 ± 4.5*
CV (%)	13.4	12.7	7.2	12.4	12.7	14.5	69.4	64.1

Gj.snitt ± SD = gjennomsnitt ± standardavvik; CV = variasjonskoeffisienten i %;  $\Delta VO_{2max}$  (feb20→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom februar 2020 og august 2020 i %;  $\Delta VO_{2max}$  (Gj.snitt→aug20) (%) = forskjellen i  $VO_{2max}$  mellom gjennomsnittet av  $VO_{2max}$  fra april 2019-februar 2020 og  $VO_{2max}$  i august 2020 %; \*p<0.05 forskjell

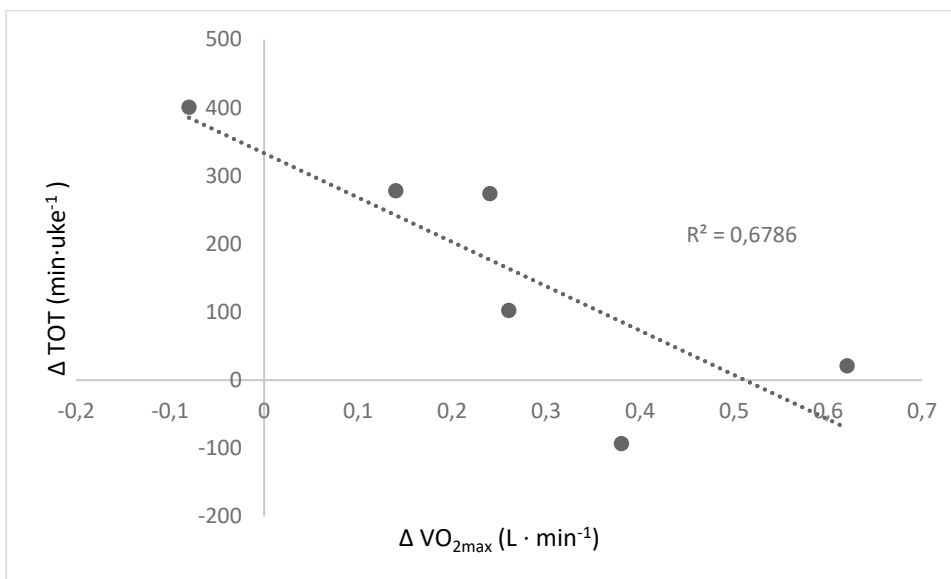
Kroppsvekten (kg) til deltakerne gikk ned med  $0.7 \pm 2.5\%$  når gjennomsnittlig kroppsvekt i august 2020 sammenlignes med gjennomsnittlig kroppsvekt for de resterende målingene. Kroppsvekt forandret seg ikke signifikant i løpet av denne studien, dermed er den prosentvise fremgangen mer eller mindre lik uavhengig av om  $VO_{2max}$  er uttrykt

som  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-0,67}\cdot\text{min}^{-1}$  eller  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  (tabell 8-10). Da spiller det ingen rolle hvilken uttrykksmåte av  $\text{VO}_{2\text{max}}$  man bruker.

### 3.3 Deltakollerasjoner

#### 3.3.1 $\Delta\text{TOT}$ og $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$

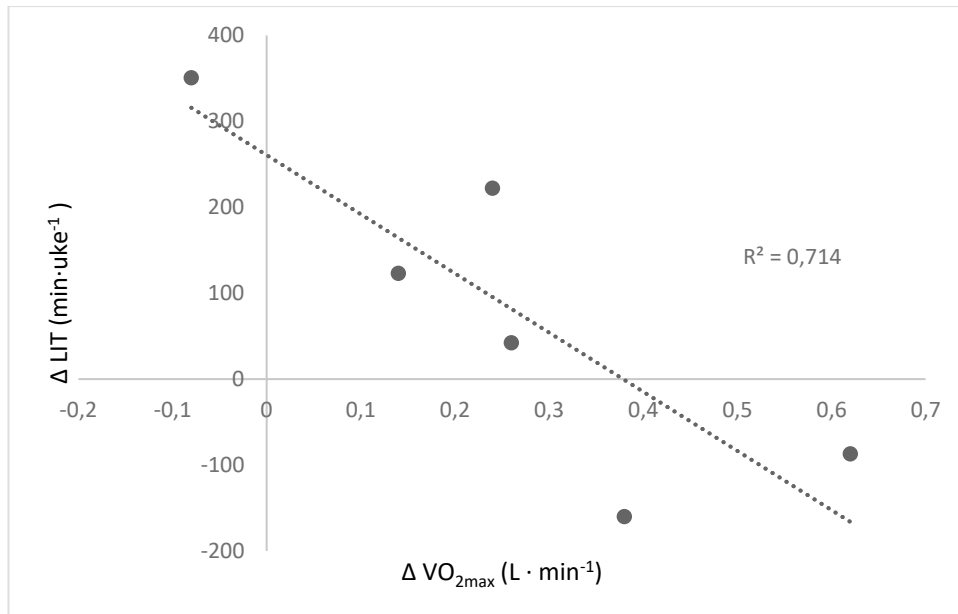
$\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$  uttrykt som  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$  (august 2019→august 2020) viste sterk negativ korrelasjon ( $r=-0.82$ ,  $p<0.05$ ,  $\text{SEE}=117.34\%$ ) med  $\Delta\text{Total}$  treningsmengde (gjennomsnittet av  $P_1+P_2\rightarrow P_3$ ) (figur 2).



Figur 2: Forholdet mellom forskjellen i totalt treningsvolum i  $\text{min}\cdot\text{uke}^{-1}$  ( $\Delta\text{TOT}$ ) mellom gjennomsnittet av totalt treningsvolum i ( $P_1 + P_2$ ) og  $P_3$ , og forskjellen i  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) ( $\Delta\text{VO}_{2\text{max}}$ ) mellom august 2019 og august 2020.

### 3.3.2 $\Delta VO_{2max}$ og $\Delta LIT$

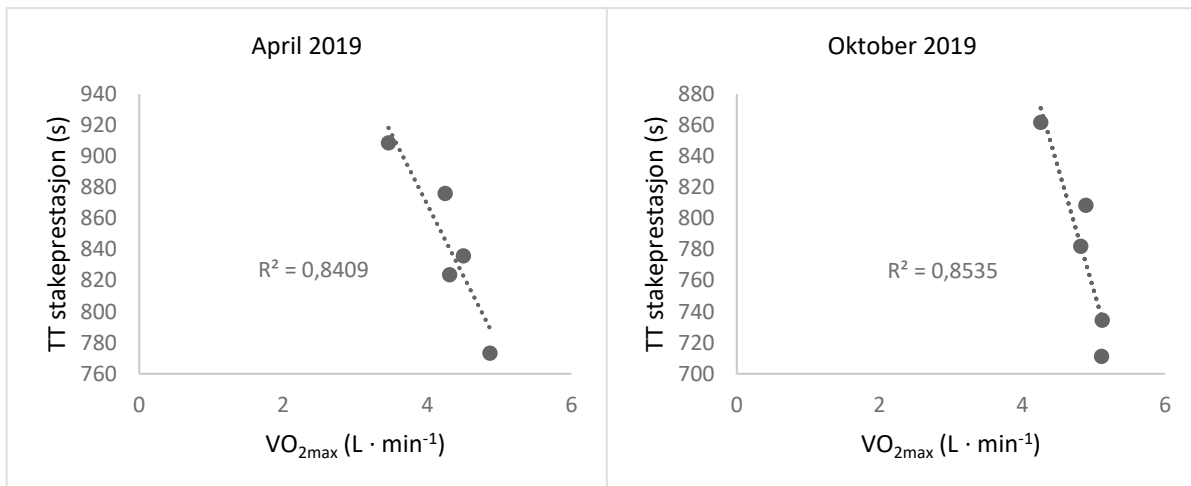
Det var også en sterk negativ korrelasjon ( $r=-0.85$ ,  $p<0,05$ ,  $SEE=114.14$  %) mellom  $\Delta VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) og  $\Delta LIT$  i samme intervall og perioder (figur 3).



Figur 3: Forholdet mellom forskjellen i totalt volum av lavintensitetstrening ( $\Delta LIT$ ) mellom gjennomsnittet av  $LIT$  i ( $P_1 + P_2$ ) og  $P_3$ , og forskjellen i  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) ( $\Delta VO_{2max}$ ) mellom august 2019 og august 2020.  $N = 6$

### 3.3.3 $VO_{2max}$ og TT-staking

$VO_{2max}$  i løping uttrykt som  $L \cdot min^{-1}$  korrelerte sterkt med prestasjon på staketest gjennomført i april 2019 ( $r=-0.92$ ,  $p<0,05$ ,  $SEE=23.79\%$ ,  $n=5$ ), og i oktober 2019 ( $r=-0.92$ ,  $p<0,05$ ,  $SEE=26.42\%$ ,  $n=5$ ) (figur 4).



Figur 4: Forholdet mellom time-trial (TT) i staking i sekunder og  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) i april og oktober 2019.  $N = 5$

## 4 DISKUSJON

Formålet med studien var å undersøke hvilken effekt langrensløperes individuelle endringer i treningen og intensitetsdistribusjon har på  $VO_{2max}$ . Dette er en oppfølgingsstudie av Johansen et al (2020a), der deltakerne ikke viste signifikante endringer i treningen i løpet av ett år. De seks langrensløperne i denne studien deltok i Johansen et al. (2020a), og representerer gjennomsnittlig alder, kjønnsfordeling og prestasjonsnivå til de 29, som deltok i den studien. I Johansen et al. (2020a) var det for øvrig signifikant sammenheng mellom MAS og TT (samme TT som i den foreliggende studien), og mellom 1RM nedtrekk og TT for samtlige deltakere.

Hovedfunnene i den foreliggende studien var først og fremst de individuelle endringene i treningsdistribusjon og de påfølgende endringene i  $VO_{2max}$ . Selv om det var store individuelle forskjeller i hvordan endringene ble utført, ble det funnet sammenheng på gruppenivå.  $\Delta VO_{2max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) korrelerte sterkt negativt med henholdsvis  $\Delta \text{TOT}$  og  $\Delta \text{LIT}$ .

### 4.1 Individuelle treningstilpasninger og utvikling av $VO_{2max}$

Fire av skiløperne målte sine høyeste  $VO_{2max}$ -verdier noensinne etter oppfølgingsperioden. Den siste måneden før  $VO_{2max}$ -målingen i august 2020 ble det observert en økning av HIT-volumet på gjennomsnittlig 60-85%, sammenlignet med HIT-volumet i de 17 foregående månedene. Det er veldokumentert at topptrente skiløpere og utholdenhetsutøvere effektivt kan øke  $VO_{2max}$  ved HIT-fokus i treningen over lengre perioder (Gaskill et al., 1999a; Ingham et al., 2012; Karlsen et al., 2020; Solli et al., 2019; Støren, 2012), eller kortere perioder på 5-12 uker (Johansen et al., 2020b; Rønnestad et al., 2014a; 2014b; 2016; Sandbakk et al., 2011c; 2013; Seiler & Kjerland, 2006; Seiler 2010). De fire skiløperne som økte  $VO_{2max}$  mest reduserte enten totalvolumet og økte HIT-volumet (TP1), opprettholdt HIT-andelen og reduserte totalvolumet (TP2 og TP3), eller økte kun totalen og reduserte HIT-volumet (TP6). Utviklingen og intensitetsstyringen av treningen TP1-3 er i tråd med resultatene i Støren et al. (2012), der en syklist på nasjonalt nivå økte både  $VO_{2max}$  og sykkelprestasjon betraktelig etter å

ha økt andelen av HIT som løping, samtidig som han reduserte total- og LIT-volumet i treningen. TP6 skiller seg imidlertid ut fra de andre når det være seg intensitetsstyring sammen med forbedring i  $VO_{2max}$ , noe som er diskutert nedenfor.

De mannlige skiløperne (TP1, TP3 og TP6) hadde omtrent treningsmengde i  $P_1$ , samt omtrent lik  $VO_{2max}$ . Samtlige mannlige skiløpere økte  $\Delta VO_{2max}$  uttrykt som  $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  med fra 7.7 til 13.2%, etter ulike treningskarakteristika og treningsendringer i  $P_2$  og  $P_3$  sammenlignet med  $P_1$ . I  $P_2$  hadde TP3 og TP6 tilnærma likt treningsvolum, mens TP1 trente cirka 60 % av deres totalvolum. I  $P_3$  viste TP6 det høyeste treningsvolumet, etterfulgt av TP3 og TP1 med henholdsvis 86% og 71% av dette. TP3 økte treningsvolumet fra  $P_1$  til  $P_2$  samtidig som han opprettholdt volumet av HIT, mens i  $P_3$  ble treningsvolumet redusert, noe som ga 21.8% mindre LIT ( $-155.7 \text{ min} \cdot \text{uke}^{-1}$ ), men 59.5% eller 31.3  $\text{min} \cdot \text{uke}^{-1}$  oppgang av HIT-andelen. Utviklingen TP3 fikk på  $\Delta VO_{2max}$  (+12,0 %) og måten det ble trent på den siste måneden er i tråd med den positive effekten bolcklegging av HIT over en kortere tidshorisont, har vist seg å gi (Helgerud et al., 2007; Johansen et al., 2020b; Rønnestad et al., 2014a, 2014b; 2016; Sandbakk et al., 2011c; 2013; Seiler & Kjerland, 2006). I  $P_2$  hadde TP1 og TP3 lik andel HIT, mens TP6 kun trente 30% av dette HIT-volumet. Det var tilnærmet lik andel av MIT for TP3 og TP6, mens TP1 hadde noe under halvparten ( $20.8 \text{ min} \cdot \text{uke}^{-1}$ ) av deres MIT-volum. I  $P_3$  hadde TP1 og TP6 tilnærmet lik andel MIT og TP3 cirka to tredeler av dette. TP3 viste størst HIT-andel ( $83.9 \text{ min} \cdot \text{uke}^{-1}$ ) og TP3 og TP1 logget henholdsvis 71% og 17% av dette. HIT er for øvrig overlegen MIT når det gjelder å øke  $VO_{2max}$  (Helgerud et al., 2007), og øke mengden av MIT vil ikke være tilstrekkelig for å øke fysiologiske variabler som  $VO_{2max}$ , AT og bevegelsesøkonomi (Daniels et al., 1984).

De største kontrastene i treningen var mellom TP1 og TP6, der TP6 trente nesten sju timer mer i uka enn TP1 i  $P_2$  og  $P_3$ , mens TP1 trente omtrentlig 35  $\text{min} \cdot \text{uke}^{-1}$  mer HIT enn TP6. Med to tredeler av TP6 sitt treningsvolum, men med nesten tre ganger så høy HIT-andel, økte TP1  $\Delta VO_{2max}$  med 7.7% og TP6 med 13.2%. Hvis man ser bort fra den lave  $VO_{2max}$ -målingen til TP 6 i april 2019, og regner med gjennomsnittet av de tre  $VO_{2max}$ -målingene fra august 2019 til februar 2020, så vil økningen av  $\Delta VO_{2max}$  være tilnærmet lik og på 7.3% og 9.0% for henholdsvis TP1 og TP6. TP6 økte  $VO_{2max}$  mest og skilte seg ut



sammenlignet med de andre skiløperne med tanke på treningskarakteristika med flest treningstimer, og samtidig det laveste HIT-volumet. Dette er i kontrast med tidligere studier, som har vist at HIT gir størst positiv effekt på den aerobe kapasiteten for veltrente utholdenhetsutøvere (Billat, 2001; Gaskill, 1999a; Laursen & Jenkins, 2002; Seiler & Kjerland, 2006; Sandbakk et al., 2013; Støren et al., 2012). Det er verdt å nevne at TP6 reduserte treningen med cirka 30% og økte mengden HIT med 10-15 min·uke<sup>-1</sup> (sammenlignet med gjennomsnittet i både P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub>) omtrent tre måneder før siste VO<sub>2max</sub>-test i august 2020. I denne perioden registrerte han den høyeste månedlige andelen av HIT noensinne, samtidig var dette måneden med det laveste treningsvolumet i løpet av de 18 månedene treningen ble registrert. Det kan spekuleres i at denne intensive perioden med økt HIT-fokus og redusert totalvolum har vært med på å gi positiv effekt for VO<sub>2max</sub> for TP6, og at nivået er opprettholdt frem til posttest. Det er også foreslått at det kan kreves ulik andel HIT fra utøver til utøver for å skape utvikling av fysiologiske faktorer som aerob kapasitet, noe som er drøftet i den longitudinelle studien til Gaskill et al. (1999a).

Blant de tre kvinnelige skiløperne var det TP2 som viste suverent størst fremgang av  $\Delta VO_{2max}$  (+11.9%), etterfulgt av TP4 med en liten oppgang på 3.6%, mens TP5 gikk ned 1.5%. TP2 hadde lavest treningsvolum gjennom hele perioden; rundt to tredeler av TP4 og TP5 i P<sub>1</sub>, cirka halvparten i P<sub>2</sub> og en tredel i P<sub>3</sub>. TP2 trente minst HIT, men økte HIT-volumet med 29% til P<sub>2</sub> og videre med 194% fra P<sub>2</sub> til P<sub>3</sub>. Denne økningen kan antas å ha bidratt til den positive utviklingen i VO<sub>2max</sub>. TP4 og TP5 økte LIT-volumet med henholdsvis 52.5% og 32.2% i P<sub>2</sub> og TP4 opprettholdt dette LIT-volumet i P<sub>3</sub>, mens TP5 økte LIT-andelen videre med 31%. Både TP4 og TP5 reduserte HIT-volumet med cirka en tredel i P<sub>2</sub>, og økte mengden HIT betraktelig i P<sub>3</sub>, med henholdsvis 281.5% og 92.4%. Treningsvolumet hadde en total økning i P<sub>2</sub> og P<sub>3</sub> på henholdsvis 36.5% og 17.1% for TP4, og 24% og 34% for TP5. Den samtidige økningen av både HIT og totalt treningsvolum kan spekuleres i å ha bidratt til en viss form for overbelastning for TP4 og TP5. Noe som også ble antatt å være tilfelle i studien til Bratland-Sanda et al. (2020), som rapporterte store interindividuelle forskjeller i VO<sub>2max</sub> etter en HIT-intervensjon for nasjonale triatleter og syklistere. Å øke HIT-volumet kan bidra til å stoppe prestasjons- og VO<sub>2max</sub>-utviklingen (Meussen et al., 2013; Seiler, 2010; Solli et al., 2019; Svendsen et al.,

2016). Bolklegging av HIT kan øke risikoen for at kroppen ikke har overskudd, at utøveren må jobbe mot overtreningssymptomer og at utøveren må avstå fra konkurranser, siden kroppens stresspåvirkning og restitusjon ikke er i tilstrekkelig balanse (Meussen et al., 2013; Svendsen et al., 2016). Når treningsvolumet (høyere volum av LIT, MIT og HIT) øker sammen med HIT-volumet, som i Svendsen et al. (2016), trenger ikke overbelastning for en utøver kun være på grunn av større andel HIT, men også grunnet større totalvolumet med høyere andel av LIT og MIT. For å ivareta overskudd og tid til restitusjon i treningsarbeidet hadde verdens beste kvinnelige skiløper gjennom tidene 15% lavere treningsvolum under årene med bolkleggingsregimet, versus årene med den tradisjonelle treningen (Solli et al., 2019). Treningsøktene i bolkene inneholdt ulike bevegelsesmåter som ivaretok variasjonsprinsippet, noe som fordelte belastningen for over- og underkropp. I tillegg, for å absorbere treningen, opprettholde treningsmotivasjonen og ikke overbelaste unødige var det viktig for henne å redusere treningsvolumet og antall HIT-økter mellom bolkene (Solli et al., 2019). I den foreliggende studien kan det antas at økning av totalvolumet i P<sub>3</sub> og ikke tilstrekkelig restitusjon for enkelte av deltakerne, kan ha påvirket resultatene både som gruppe og på det individuelle plan.

I den foreliggende studien kan vi se en endring i intensitetsfordelingen den siste måneden før posttest i august 2020. Spesielt for TP 1-3 som rapportere en signifikant forbedring av VO<sub>2max</sub> ved å redusere totalvolumet og opprettholde eller øke andelen av HIT der fordelingen for TP1-3 i P<sub>3</sub>, der LIT-MIT-HIT var henholdsvis 86.4-6.1-7.5 %, 75.7-8.7-15.6% og 82.9-4.6-12.5 %. Dette er mindre tradisjonelt og tilnærmet lik intensitetsfordelingen vist av suksessløperne i Karlsen et al. (2020) og Solli et al. (2019). P<sub>3</sub> har varighet på en måned og det økte fokuset på HIT-volumet over en kort tidshorisont kan gi ekstremt positiv effekt på den aerobe kapasiteten, sammen med en fornuftig komponering av treningsfordelingen av LIT og HIT (Laursen & Jenkins, 2002; Laursen, 2010). Dette kan antas å være forklarende for den gode fremgangen for TP 1-3, og mindre eller ingen fremgang for TP 4 og TP5. TP6 skiller seg som tidligere nevnt ut, men viste intensitetsforandringer tre måneder før posttest, som er i samsvar med anbefalinger for å redusere treningsvolum og øke HIT-volum for å øke VO<sub>2max</sub>. I casestudien til Karlsen et al. (2020) var utholdenhetstreningen til de kvinnelige

eliteutøverne fordelt som 85-89% LIT, 1-3% MIT og 8-11% HIT, som samsvarer med den kvinnelige verdensstjernas år med bolklegging av HIT (Solli et al., 2019). Dette er høyere andel av HIT sammenlignet med deltakerne i Johansen et al. (2020a), som opplevde stagnasjon i utviklingen. Sammenlignet med olympiske gullmedaljørere i langrenn trente de nasjonale skiløperne i Johansen et al. (2020a) både mindre i total treningsmengde og i mengde HIT (Tønnesen et al., 2014), men med tilnærmet lik intensitetsfordeling og etter en såkalt tradisjonell modell som de internasjonale skiløperne i Sandbakk et al. (2016). De nasjonale skiløperne i Sandbakk et al. (2016) viste en mer lineær utvikling i treningsvolumet (mer LIT) enn skiløperne i Johansen et al. (2020a).

#### 4.2 Endring i trening og $VO_{2max}$ på gruppenivå

$\Delta VO_{2max}$  uttrykt som  $L \cdot \text{min}^{-1}$  (august 2019  $\rightarrow$  august 2020) viste sterk negativ korrelasjon ( $r=-0.82$ ,  $r^2=0.68$ ,  $p<0.05$ ,  $SEE=117.34$  %) med  $\Delta$ Total treningsmengde ( $P_3$  – gjennomsnitt av  $P_1$  og  $P_2$ ). Endringer i den totale treningsmengden er i stor grad samsvarende med endringer i LIT, siden LIT utgjør rundt 90 % av utholdenhetstreningen. Og den negative og sterke korrelasjonen ( $r=-0.85$ ,  $r^2=0.71$ ,  $p<0,05$ ,  $SEE=114,14$  %) mellom  $\Delta VO_{2max}$  uttrykt som  $L \cdot \text{min}^{-1}$  (august 2019  $\rightarrow$  august 2020) og  $\Delta$ LIT (gjennomsnittet av  $P_1+P_2 \rightarrow P_3$ ) viste her at desto mer langrennsløperne øker LIT, desto mindre øker  $VO_{2max}$ , selv om det selvfølgelig er farlig å generalisere på bakgrunn av et så lavt antall løpere. Dette indikerer at henholdsvis 68% og 71% av økningen av  $VO_{2max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) kan forklares med reduksjonen av henholdsvis det totale treningsvolumet og LIT-volumet, vel å merke dersom det kan forutsettes å være en kausalitet. Fremgangen og endringene i  $VO_{2max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) lot seg påvirke positivt av reduksjonen av det totale treningsvolumet og LIT-volumet, uten at en økning av HIT viste noen statistisk signifikans i denne studiens lille utvalg. Uansett, det kan være naturlig å tenke at økt eller opprettholdt HIT-volum henger sammen med redusert totalbelastning og fremgang av  $VO_{2max}$ .

$VO_{2max}$  er den viktigste enkeltfaktoren for utholdenhetsprestasjon i et heterogent utvalg (Basset & Howley, 2000; di Prampero, 2003; Helgerud et al., 2007; Foster et al., 1978; Pate & Kriska; 1984), og for langrennsløpere er  $VO_{2max}$  en begrensende fysiologisk faktor for prestasjon (Saltin & Åstrand, 1967; Ingjer, 1991; Sandbakk et al., 2016; Tønnesen et

al., 2015). Videre er det observert en sterk relasjon mellom forbedret  $VO_{2max}$  og forbedret prestasjon i langrenn (Gaskill et al., 1999a; Ingjer, 1991; Mahood et al., 2001; Johansen et al., 2020a; 2020b). Blant eliteutøvere i langrenn observerte Ingjer (1992) at  $VO_{2max}$  uttrykt som vektavhengig enhet flatet ut i 15-årsalderen, mens i den foreliggende studien viser de seks langrennsløperne at de har et utviklingspotensial i  $VO_{2max}$ . Dette er en oppfølgingsstudie av Johansen et al. (2020a), der de nasjonale langrennsløpere som deltok, viste omtrentlig 20% lavere aerob kapasitet enn eliteutøvere. I den foreliggende studien har det totale oksygenopptaket ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) vist seg som mest gjeldende når det handler om hvordan det påvirker prestasjon, samtidig som treningens intensitetsdistribusjon påvirket  $VO_{2max}$ .

I den foreliggende studien gjennomførte deltakerne staketesten med en gjennomsnittlig tid på 13min og 12s (posttest). Dette tilsvarer en gjennomsnittlig intensitet på 95-100% av  $VO_{2max}$  når vi sammenligner testløpets varighet og utøvernes nivå med løpestudien til Støa et al. (2010). I distanselangrenn skjer 85-95% av energiomsetningen aerobt (Sandbakk & Holmberg, 2017), og siden  $VO_{2max}$  er direkte relatert til den aerobe energiomsetningen (Basset & Howley, 2000; di Prampero et al., 2003), vil det med bakgrunn i testløpets varighet være naturlig at  $VO_{2max}$  var av stor betydning for TT-prestasjon i den foreliggende studien. I denne studien var det ingen signifikant sammenheng mellom treningsendringene, TT-prestasjon og  $VO_{2max}$  uttrykt som hverken  $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  eller  $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-0,67} \cdot \text{min}^{-1}$ . Men den absolutte verdien av  $VO_{2max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ), som viser kroppens totale opptak og omsetning av  $O_2$ , viste seg å ha stor betydning for TT-prestasjon i staking ved to av testene. Dette belyser at det kan være vanskelig å justere kroppsmassen i langrenn med tanke på å evaluere prestasjonskapasitet og effektivitet (Bergh, 1987). I den foreliggende studien kan en anta, som en høy  $VO_{2max}$  uttrykt som  $L \cdot \text{min}^{-1}$  gjaldt for Juhani Mieto (Rusko, 2003; Saltin, 1997) og som roernes sterke prestasjonsfaktor (Secher, 1992), at kroppsvekten ikke er så viktig med tanke på prestasjonen. Rulleskiløypa som ble brukt kan karakteriseres som en relativt lett løype med høydeforskjell på 11m per runde. Det er løypas karakteristika som vil påvirke dersom det er den absolutte verdien eller den kroppsnormaliserte verdien for  $VO_{2max}$ , som bør brukes for å predikere prestasjon (Saltin, 1997). Tyngre løpere med et stort litervolum kan favoriseres i lettere løyper, og lettere utøvere med høyt relativt

oksygenopptak vil som regel være best i de tyngre skiløypene, samt under mer krevende forhold med dårligere glid. Hvis antallet deltakere i studien hadde vært høyere ville antakeligvis  $VO_{2max}$  korrelert på samtlige staketester, noe det gjorde i studien til Sunde et al. (2019) med  $n=28$ . I Sunde et al. (2019) ble det brukt samme stakeløype og  $VO_{2max}$ -protokoll som i den foreliggende studien.  $VO_{2max}$  i løping uttrykt på de tre måtene som er anvendt i den foreliggende studien korrelerte samtlige sterkt med staketesten ( $r=-0.77 - r=-0.79, p<0.01$ ) i Sunde et al. (2019).

Det er for øvrig få, om så noen, som har vunnet medaljer i store mesterskap uten å inneha  $VO_{2max}$  rundt eller over  $6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  (for menn), uavhengig av kroppsstørrelse (Bergh & Forsberg, 1992; Tønnessen et al., 2015). Norske kvinnelige OL-medaljørere i langrenn fra 1990-2013 viste en gjennomsnittlig  $VO_{2max}$  på  $4.3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  for distanseløpere, og  $4.0 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  for sprintere (Tønnessen et al., 2015). Til sammenligning, i den foreliggende studien viste de mannlige skiløperne ved posttest i august 2020 en  $VO_{2max}$  på  $5.33-5.50 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $72.2-78.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), og de kvinnelige skiløperne en  $VO_{2max}$  på  $3.74-5.18 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ( $59.3-68.3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Det er bred konsensus blant forskere for at  $VO_{2max}$  kan økes ved at HIT-volumet i treningen blir større (Gaskill et al., 1999a; Helgerud et al., 2007; Johansen et al. (2020b); Laursen & Jenkins, 2002; Londeree et al., 1997; Seiler, 2010; Støren et al., 2012). Samtidig må det tas hensyn til gjennomføring og restitusjon (Karlsen et al., 2020; Solli et al., 2019). I den longitudinelle studien til Gaskill et al. (1999a) endret langrennsløpere treningen fra høy andel LIT og lite HIT det første året (uten forbedring), til høyere HIT-volum (+136%, fra 100 til 236t) og lavere LIT-volum (-36%, fra 443 til 283t) det andre året uten å endre totalvolumet. Treningsendringen ga signifikant fremgang i  $VO_{2max}$  ( $p<0,01$ ) og langrennsprestasjon. I Johansen et al. (2020a) trente deltakerne den tradisjonelle modellen med en utholdenhetsfordeling av LIT-MIT-HIT på henholdsvis 90-5-5% (mai-juli) og 88-5-6% (august-oktober). Denne treningen og intensitetsdistribusjonen (mai-oktober) ga ingen økning i  $VO_{2max}$ , og kun mindre fremgang av prestasjon på staketest (Johansen et al., 2020a). Treningsintensitetsdistribusjon i Johansen et al. (2020a) er tilnærmet lik i den foreliggende studien i  $P_1$  og  $P_2$ , men endrer seg til  $P_3$  der utholdenhetsfordelingen for LIT-MIT-HIT er

85-6-9%. Den gjennomsnittlige intensitetsfordelingen i  $P_3$  kan sammenlignes med intensitetsdistribusjonen til de kvinnelige eliteløperne i langrenn i Karlsen et al. (2020) og Solli et al. (2019), som trente etter et bolckleggingsregime med HIT for å øke aerob kapasitet. Samtidig må det sies at det var store individuelle forskjeller på treningsintensitetens distribusjon i den foreliggende studien. Metaanalysen til Mølmen et al. (2019) foreslår at bolcklegging av HIT kan være mer effektivt enn den tradisjonelle periodiseringen når det kommer til å utvikle  $VO_{2max}$  og maksimal power. Eliteløperne i Karlsen et al. (2020) hadde en signifikant prestasjonsfremgang (basert på forbedring av FIS-poeng) det første året i bolcktreningsregimet, for så å opprettholde prestasjonen på det samme nivået de påfølgende sesongene. Basert på intervju av datidens fysiolog og trener kunne de estimere at de kvinnelige eliteløperne i langrenn hadde en økning på 5-15% av  $VO_{2max}$ . Bolckleggingen av HIT for tidenes kvinnelige skiløper i Solli et al. (2019) ga positiv effekt tidlig i karrieren og forbedring av aerob kapasitet og langrennsprestasjon de to første årene, før stagnasjon. Ved overgang til et tradisjonelt treningsregime ble det ett år der utøveren opplevde fremgang, for så at prestasjonsnivået stabiliserte seg de påfølgende sesongene (Solli et al., 2019).

Hvor høy  $VO_{2max}$  man kan oppnå er til en viss grad genetisk bestemt, samtidig som det er naturlig at man etter hvert når sitt toppnivå (Bratland-Sanda et al., 2020). Da vil det være viktig å opprettholde  $VO_{2max}$ -nivået, som ble gjort i Solli et al. (2019) og Karlsen et al. (2020), samtidig som man utvikler andre fysiologiske egenskaper (Ingjer, 1992). Basert på dette kan man anta at det viktigste er å prioritere å oppnå høyest mulig  $VO_{2max}$  tidlig i en karriere som vist i Ingjer (1992), samtidig som det understrekes at skiløperne i den foreliggende studien har et potensiale for å videreutvikle  $VO_{2max}$ . Da gjelder det å planlegge treningen deretter, siden oksygenopptaket er det viktigste våpenet til en veltrent skiløper. Forandring i treningsintensitetsfordeling ga positiv effekt for langrennsløperne  $VO_{2max}$  og prestasjon i denne studien. Dette samsvarer med positiv utvikling for  $VO_{2max}$  og prestasjon etter endringer i intensitetsdistribusjonen med økt eller nytt HIT-fokus har gitt i langrenn (Gaskill et al., 1999a; Johansen et al., 2020b; Rønnestad et al., 2016; Sandbakk et al., 2013), løping (Ingham et al., 2012) og sykling (Rønnestad et al., 2014a; 2014b; Støren et al., 2012). For verdens beste kvinnelige skiløper fungerte bolcklegging med stor andel HIT tidlig i karrieren for å optimalisere

$VO_{2max}$ , etterfulgt av tradisjonell tilnærming til treningen med mer LIT (Solli et al., 2019), som har vist seg å være effektiv for å perfektionere teknikk og utvikle arbeidsøkonomi (Haugnes et al., 2019; Ingjer, 1992; Scrimgeor et al., 1986).

### 4.3 Styrker og svakheter

I mangel på longitudinelle studier for langrennsutøvere på relativt høyt nivå har denne studien hatt en styrke i å kunne følge seks skiløpere ett år etter at de var med i studien til Johansen et al. (2020a). Studien har gitt ett godt innblikk i treningsarbeidet og endringene i treningen og intensitetsdistribusjonen til hver enkelt, og dens påvirkning på  $VO_{2max}$  og prestasjon. Kun seks testpersoner krever ekstreme sammenhenger for å få signifikante korrelasjoner (Rosner, 2008). Det vil bety at en del sammenhenger som ville vist seg å gi signifikante korrelasjoner med et høyere antall deltakere, ikke gjør det i denne studien på grunn av det lave antallet testpersoner (type2-feil) (Rosner, 2008). På en annen side vil de korrelasjoner som forekommer her ha en stor praktisk betydning, siden det nettopp kreves så tydelige sammenhenger for at det skal bli signifikant.

Det kunne også vært interessant og sjekket ut andre fysiologiske faktorer opp mot treningsendringene, som for eksempel arbeidsøkonomi (C). På grunn av Covid-19 fikk man ikke målt den direkte påvirkningen på prestasjon i langrennskonkurranser, som funnene i den foreliggende studien potensielt kunne ha. Andre begrensninger i denne studien vil være at  $VO_{2max}$ -målinger ble utført i løping, og ikke i staking på rulleski. Det er gjort funn av fysiologiske forskjeller mellom skiteknikkene (Holmberg et al., 2007). Man skal være forsiktig med å generalisere når en liten kohort undersøkes, så ved å undersøke temaet videre i en større kohort med utøvere fra nasjonalt til internasjonalt nivå vil man kunne få svar som kan gi større generaliserbarhet. Det kan være med på å skape enda større forståelse for utøvere og trenere i hvordan intensitetsstyringen av treningen bør optimaliseres for å skape videre utvikling av langrennsprestasjon og prestasjonsbestemmende fysiologiske faktorer, som for eksempel  $VO_{2max}$ .

#### 4.4 Praktiske implikasjoner

Basert på studiens resultater i forlengelse av resultatene i Johansen et al. (2020a), vil det anbefales å gjøre endringer i treningens intensitetsfordeling hvis man som langrennsløper føler stagnasjon eller for lite utvikling. Ved lite fremgang eller stagnasjon i prestasjon og  $VO_{2max}$ , som i Johansen et al. (2020a), vil det være formålstjenlig å endre treningens intensitetsdistribusjon med eksempelvis å legge til et større HIT-volum. Samtidig som man tar hensyn til totalvolumet og restitusjonstid, og ha overskudd til HIT-øktene. Dette var spesielt tydelig i den foreliggende oppgaven med tanke på den negative sammenhengen mellom totalt treningsvolum og framgang i  $VO_{2max}$ . Det vil være en vurdering for hver utøver med sin respektive trener dersom LIT-volumet skal minkes, opprettholdes eller økes, samtidig som HIT-andelen økes for å skape fremgang i  $VO_{2max}$  og langrennsprestasjon. Forandring kan gi positive effekter, og hvordan man planlegger HIT-øktene kan påvirke utfallet, der bolklegging av HIT framfor den tradisjonelle modellen med to-tre HIT per uke, kan være fruktbart (Rønnestad et al., 2016). Med bakgrunn i dette bør det anvendes et trenings- og analyseverktøy sammen med treningsdagbøker, som hjelper til med å planlegge og evaluere intensitetsdistribusjonen sammen med tid brukt til restitusjon. Dette vil gi en god kontroll på treningsarbeidet.



## 5 Konklusjon

Studien viste at individuelle endringer i treningens intensitetsdistribusjon ga økt  $VO_{2max}$  hos fem av seks langrennsløpere. Det kan se ut som at langrennsløperne som økte mengden HIT og samtidig opprettholdt eller reduserte total mengde trening, økte  $VO_{2max}$  mer enn langrennsløpere som økte total mengde trening alene eller sammen med HIT. Imidlertid var ikke dette bildet entydig.

## 6 Litteratur

- Ainegren, M., Carlsson, P., Tinnsten, M., & Laaksonen, M. S. (2013). Skiing economy and efficiency in recreational and elite cross-country skiers. *Journal of strength and conditioning research*, 27(5), 1239–1252.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31824f206c>
- Alsobrook, N. G., & Heil, D. P. (2009). Upper body power as a determinant of classical cross-country ski performance. *European journal of applied physiology*, 105(4), 633–641. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0943-z>
- Andersen, P., & Saltin, B. (1985). Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *The Journal of physiology*, 366, 233–249.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1985.sp015794>
- 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. *European journal of applied physiology*, 110(3), 585–595. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1535-2>
- Barrett-O'Keefe, Z., Helgerud, J., Wagner, P. D., & Richardson, R. S. (2012). Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 113(12), 1846–1851. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00761.2012>
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Behm, David G. Neuromuscular Implications and Applications of Resistance Training, *Journal of Strength and Conditioning Research*: November 1995 - Volume 9 Issue 4 - p 264-274
- Berg, J., Undebakke, V., Rasch-Halvorsen, Ø., Aakerøy, L., Sandbakk, Ø., & Tjønnå, A. E. (2019). Comparison of Mitochondrial Respiration in M. triceps brachii and M. vastus lateralis Between Elite Cross-Country Skiers and Physically Active Controls. *Frontiers in physiology*, 10, 365.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00365>

- Bergh U. (1987). The influence of body mass in cross-country skiing. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(4), 324–331.
- Bergh, U. (1982). *Physiology of Cross Country Ski Racing: Human Kinetics*.
- Bergh, U., & Forsberg, A. (1992). Influence of body mass on cross-country ski racing performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(9), 1033–1039.
- Billat L. V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(1), 13–31.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>
- Bilodeau, B., Roy, B., & Boulay, M. R. (1995). Upper-body testing of cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(11), 1557–1562.
- Bosquet, L., Léger, L., & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(11), 675–700.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00002>
- Boushel, R., & Saltin, B. (2013). Ex vivo measures of muscle mitochondrial capacity reveal quantitative limits of oxygen delivery by the circulation during exercise. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 45(1), 68–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2012.09.024>
- Boushel, R., Gnaiger, E., Calbet, J. A., Gonzalez-Alonso, J., Wright-Paradis, C., Sondergaard, H., Ara, I., Helge, J. W., & Saltin, B. (2011). Muscle mitochondrial capacity exceeds maximal oxygen delivery in humans. *Mitochondrion*, 11(2), 303–307. <https://doi.org/10.1016/j.mito.2010.12.006>
- Bratland-Sanda, S., Pedersen, F. G., Haave, M. N., Helgerud, J., & Støren, Ø. (2020). Large Inter-Individual Differences in Responses to a Block of High Intensity Aerobic Interval Training: A Case Series in National-level Cyclists and Triathletes. *International journal of exercise science*, 13(2), 480–487.
- Campos, G. E., 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. *European journal of applied physiology*, 88(1-2), 50–60. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0681-6>

- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 12(5), 357–360.
- Costill, D. L., Thomas, H., and Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 5, 248–252.
- Daniels, J., & Scardina, N. (1984). Interval training and performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 1(4), 327–334.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-198401040-00006>
- di Prampero P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European journal of applied physiology*, 90(3-4), 420–429.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-003-0926-z>
- di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J. C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(3), 259–266. <https://doi.org/10.1007/BF02343797>
- Driller, M. W., Fell, J. W., Gregory, J. R., Shing, C. M., & Williams, A. D. (2009). The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *International journal of sports physiology and performance*, 4(1), 110–121.  
<https://doi.org/10.1123/ijspp.4.1.110>
- Eisenman, P. A., Johnson, S. C., Bainbridge, C. N., & Zupan, M. F. (1989). Applied physiology of cross-country skiing. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 8(2), 67–79. <https://doi.org/10.2165/00007256-198908020-00001>
- Ekblom, B., Astrand, P. O., Saltin, B., Stenberg, J., & Wallström, B. (1968). Effect of training on circulatory response to exercise. *Journal of applied physiology*, 24(4), 518–528. <https://doi.org/10.1152/jappl.1968.24.4.518>
- FIS (2020) THE INTERNATIONAL SKI COMPETITION RULES (ICR) BOOK II CROSS COUNTRY, Edition June 2020. [https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1608218112/fis-prod/assets/ICR\\_CrossCountry\\_2020\\_clean.pdf](https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1608218112/fis-prod/assets/ICR_CrossCountry_2020_clean.pdf)
- Formenti, F., Ardigò, L. P., & Minetti, A. E. (2005). Human locomotion on snow: determinants of economy and speed of skiing across the ages. *Proceedings. Biological sciences*, 272(1572), 1561–1569.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3121>

- Foster, C., Costill, D. L., Daniels, J. T., & Fink, W. J. (1978). Skeletal muscle enzyme activity, fiber composition and VO<sub>2</sub> max in relation to distance running performance. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 39(2), 73–80. <https://doi.org/10.1007/BF00421711>
- Gandevia S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological reviews*, 81(4), 1725–1789. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.4.1725>
- Gaskill, S. E., Serfass, R. C., & Rundell, K. W. (1999b). Upper body power comparison between groups of cross-country skiers and runners. *International journal of sports medicine*, 20(5), 290–294. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971133>
- Gaskill, S. E., Serfass, R. C., Bacharach, D. W., & Kelly, J. M. (1999a). Responses to training in cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(8), 1211–1217. <https://doi.org/10.1097/00005768-199908000-00020>
- Gastin P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(10), 725–741. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Haugnes, P., Kocbach, J., Luchsinger, H., Ettema, G., & Sandbakk, Ø. (2019). The Interval Based Physiological and Mechanical Demands of Cross-Country Ski Training. *International journal of sports physiology and performance*, 1–7. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-1007>
- Hébert-Losier, K., Zinner, C., Platt, S., Stöggl, T., and Holmberg, H. C. (2017). Factors that influence the performance of elite sprint cross-country skiers. *Sports Med.* 47, 319342. doi: 10.1007/s40279-016-0573-2
- Helgerud J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 68(2), 155–161. <https://doi.org/10.1007/BF00244029>
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and science in sports and*

*exercise*, 33(11), 1925–1931.

<https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019>

Helgerud, J., Støren, O., & Hoff, J. (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners?. *European journal of applied physiology*, 108(6), 1099–1105.

<https://doi.org/10.1007/s00421-0091218-z>

HELGERUD, JAN, HOYDAL, KJETILL, WANG, EIVIND, KARLSEN, TRINE, BERG, PALR, BJERKAAS, MARIUS, et al. (2007). Aerobic High-Intensity Intervals Improve V[spacing dot above]O<sub>2</sub>max More Than Moderate Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39, 665-671.

<https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>

Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 65(5), 2285–2290.

<https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.5.2285>

Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(5), 288–295.

<https://doi.org/10.1034/j.1600-0838.2002.01140.x>

Hoff, J., Helgerud, J., & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 870–877.

<https://doi.org/10.1097/00005768-19990600000016>

Hoffman, M. D., & Clifford, P. S. (1992). Physiological aspects of competitive cross country skiing. *Journal of sports sciences*, 10(1), 3–27.

<https://doi.org/10.1080/02640419208729903>

Holmberg H. C. (2015). The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25 Suppl 4, 100–109.

<https://doi.org/10.1111/sms.12601>

Holmberg, H. C. (1996). *Teknik Och Metodik*. Bjästa: CEWE-förlaget.

Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E., & Müller, E. (2005).

Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine*

and science in sports and exercise, 37(5), 807–818.

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000162615.47763.c8>

Holmberg, H. C., Rosdahl, H., & Svedenham, J. (2007). Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(4), 437–444.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00592.x>

Ingham, S. A., Fudge, B. W., & Pringle, J. S. (2012). Training distribution, physiological profile, and performance for a male international 1500-m runner. *International journal of sports physiology and performance*, 7(2), 193–195.

<https://doi.org/10.1123/ijspp.7.2.193>

Ingjer F (1991) Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 1(1):25–30.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1991.tb00267.x>

Ingjer F. (1992). Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross country skiers: a longitudinal study. *Journal of sports sciences*, 10(1), 49–63.

<https://doi.org/10.1080/02640419208729906>

Issurin V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(3), 189–206.

<https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>

Johansen, J. M., Eriksen, S., Sunde, A., Slettebø, Ø. B., Helgerud, J., & Støren, Ø. (2020b). Improving Utilization of Maximal Oxygen Uptake and Work Economy in Recreational Cross-Country Skiers With High-Intensity Double-Poling Intervals. *International journal of sports physiology and performance*, 1–8.

Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0689>

Johansen, J. M., Goleva-Fjellet, S., Sunde, A., Gjerløw, L. E., Skeimo, L. A., Freberg, B. I., Sæbø, M., Helgerud, J., & Støren, Ø. (2020a). No Change - No Gain; The Effect of Age, Sex, Selected Genes and Training on Physiological and Performance Adaptations in Cross Country Skiing. *Frontiers in physiology*, 11, 581339.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.581339>

Jonsson, M., Welde, B., & Stöggl, T. L. (2019). Biomechanical differences in double poling between sexes and level of performance during a classical cross-country

skiing competition. *Journal of sports sciences*, 37(14), 1582–1590.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1577119>

Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35–44.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>

Karlsen, T., Solli, G. S., Samdal, S. T., & Sandbakk, Ø. (2020). Intensity Control During Block Periodized High-Intensity Training: Heart Rate and Lactate Concentration During Three Annual Seasons in World-Class Cross-Country Skiers. *Frontiers in sports and active living*, 2, 549407. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.549407>

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(4), 674–688.

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>

Larsen H. B. (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 136(1), 161–170.

[https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(03\)00227-7](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(03)00227-7)

Larsen, H. B., & Sheel, A. W. (2015). The Kenyan runners. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25 Suppl 4, 110–118.

<https://doi.org/10.1111/sms.12573>

Laursen P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high volume training?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 2, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>

Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(1), 53–73.

<https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

Lindinger, S. J., Göpfert, C., Stöggl, T., Müller, E., & Holmberg, H. C. (2009c).

Biomechanical pole and leg characteristics during uphill diagonal roller skiing. *Sports biomechanics*, 8(4), 318–333.

<https://doi.org/10.1080/14763140903414417>

Lindinger, S. J., Holmberg, H. C., Müller, E., & Rapp, W. (2009a). Changes in upper body muscle activity with increasing double poling velocities in elite cross-country



- skiing. *European journal of applied physiology*, 106(3), 353–363.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1018-5>
- Lindinger, S. J., Stöggl, T., Müller, E., & Holmberg, H. C. (2009b). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(1), 210–220.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318184f436>
- Londeree B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(6), 837–843.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-199706000-00016>
- Losnegard T. (2019). Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European journal of applied physiology*, 119(8), 1675–1690.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-019-04158-x>
- Losnegard, T., & Hallén, J. (2014). Physiological differences between sprint- and distance specialized cross-country skiers. *International journal of sports physiology and performance*, 9(1), 25–31.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0066>
- Losnegard, T., Mikkelsen, K., Rønnestad, B. R., Hallén, J., Rud, B., & Raastad, T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(3), 389–401. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01074.x>
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M., & Hallén, J. (2013). Seasonal variations in VO<sub>2</sub>max, O<sub>2</sub>-cost, O<sub>2</sub>-deficit, and performance in elite cross-country skiers. *Journal of strength and conditioning research*, 27(7), 1780–1790.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827368f6>
- Losnegard, T., Schäfer, D., & Hallén, J. (2014). Exercise economy in skiing and running. *Frontiers in physiology*, 5, 5.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00005>
- Mahood, N. V., Kenefick, R. W., Kertzer, R., & Quinn, T. J. (2001). Physiological determinants of cross-country ski racing performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(8), 1379–1384.  
<https://doi.org/10.1097/00005768200108000-00020>

- Matwejew, L. (1975). *Periodisierung des sportlichen trainings*. Berlin: Bartels and Wernitz.
- McArdle, W. D., Katch, V. L., & Katch, F. I. (2010). *Exercise physiology : nutrition, energy, and human performance* (7th ed. utg.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McCormick, A., Meijen, C., & Marcora, S. (2015). Psychological Determinants of Whole Body Endurance Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(7), 997–1015. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0319-6>
- Medbø, J. I., & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 67(5), 1881–1886. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.67.5.1881>
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., Urhausen, A., European College of Sport Science, & American College of Sports Medicine (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>
- Mølmen, K. S., Øfsteng, S. J., & Rønnestad, B. R. (2019). Block periodization of endurance training - a systematic review and meta-analysis. *Open access journal of sports medicine*, 10, 145–160. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S180408>
- Noakes T. D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(4), 319330. <https://doi.org/10.1249/00005768-198808000-00001>
- Pate, R.R., Kriska, A. Physiological Basis of the Sex Difference in Cardiorespiratory Endurance. *Sports Medicine* 1, 87–89 (1984). <https://doi.org/10.2165/00007256-198401020-00001>
- Pellegrini, B., Stöggl, T. L., & Holmberg, H. C. (2018). Developments in the Biomechanics and Equipment of Olympic Cross-Country Skiers. *Frontiers in physiology*, 9, 976. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00976>

- Peterson, M. D., Alvar, B. A., & Rhea, M. R. (2006). The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 20(4), 867–873.  
<https://doi.org/10.1519/R18695.1>
- Pollock M. L. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 301, 310-322. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1977.tb38209.x>
- 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. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(5), 1527-1533. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527>
- orfatter. (år). *Tittel i kursiv* (utg.). Utgivelsessted: Forlag.
- Rosner B. (2006). *Fundamentals of Biostatistics*. 6th ed. Duxbury: Thomson Brooks/Cole.
- Rundell K. W. (1995). Treadmill roller ski test predicts biathlon roller ski race results of elite U.S. biathlon women. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(12), 1677–1685.
- Rundell, K. W., & Bacharach, D. W. (1995). Physiological characteristics and performance of top U.S. biathletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 27(9), 1302–1310.
- Rusko H. (1987). The effect of training on aerobic power characteristics of young cross country skiers. *Journal of sports sciences*, 5(3), 273–286.  
<https://doi.org/10.1080/02640418708729782>
- Rusko H. K. (1992). Development of aerobic power in relation to age and training in cross country skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(9), 1040-1047.
- Rusko, H. (2003). *Handbook of Sports Medicine and Science: Cross country skiing*. Blackwell Science Ltd.
- Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J., & Hallén, J. (2014a). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scandinavian journal of*

*medicine & science in sports*, 24(2), 327–335.

<https://doi.org/10.1111/sms.12016>

Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Ellefsen, S. (2014b). Block periodization of high intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 34–42.

<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x>

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Thyli, V., Bakken, T. A., & Sandbakk, Ø. (2016). 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross-country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(2), 140–146.

<https://doi.org/10.1111/sms.12418>

Raastad, T., Paulsen, G., Refsnes, P. E., Rønnestad, B. R., & Wisnes, A. R. (2010).

*Styrketrening: i teori og praksis*. Oslo: Gyldendal undervisning.

Sale D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(5 Suppl), S135–S145.

<https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00009>

Saltin B, Åstrand PO (1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 23(3):353–358. <https://doi.org/10.1152/jappl.1967.23.3.353>

Saltin B. The physiology of competitive c.c. skiing across a four decade perspective; with a note on training induced adaptations and role of training at medium altitude. In: Müller E, Schwameder H, Kornexl E, Raschner C, eds. *Science and skiing*. London: E. & F. N. Spon, 1997: 435– 469.

Sandbakk, O., Ettema, G., Leirdal, S., Jakobsen, V., & Holmberg, H. C. (2011a). Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *European journal of applied physiology*, 111(6), 947–957.

<https://doi.org/10.1007/s00421-010-1719-9>

Sandbakk, Ø., & Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross country skiing. *International journal of sports physiology and performance*, 9(1), 117121. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2013-0373>

Sandbakk, Ø., & Holmberg, H. C. (2017). Physiological Capacity and Training Routines of Elite Cross-Country Skiers: Approaching the Upper Limits of Human Endurance. *International journal of sports physiology and performance*, 12(8), 1003–1011. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0749>

- Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2012). *Den norske langrennsboka*. Oslo: Aschehoug.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., & Holmberg, H. C. (2014). Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), 28–33. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x>
- Sandbakk, Ø., Hegge, A. M., Losnegard, T., Skattebo, Ø., Tønnessen, E., & Holmberg, H. C. (2016). The Physiological Capacity of the World's Highest Ranked Female Cross country Skiers. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(6), 1091–1100. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000862>
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2010). Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European journal of applied physiology*, 109(3), 473–481. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1372-3>
- Sandbakk, Ø., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2011b). The physiology of world-class sprint skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), e9–e16. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x>
- Sandbakk, Ø., Sandbakk, S. B., Ettema, G., & Welde, B. (2013). Effects of intensity and duration in aerobic high-intensity interval training in highly trained junior cross country skiers. *Journal of strength and conditioning research*, 27(7), 1974–1980. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182752f08>
- Sandbakk, Ø., Welde, B., & Holmberg, H. C. (2011c). Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers. *Journal of strength and conditioning research*, 25(5), 1299–1305. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d82d11>
- 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. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(2), 202–209. <https://doi.org/10.1007/BF00715006>
- Secher, N.H. (1992). Rowing. In *Endurance in Sport*. Eds.: Shepard, R.J. and Åstrand, P. O. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Chapter 51, 563-569.

- Seiler S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes?. *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijspp.5.3.276>
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16(1), 49–56. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Seiler, Stephen & Tønnessen, Espen. (2009). Intervals, Thresholds, and Long Slow Distance: the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *SPORTSCIENCE* · sportsci.org. 13. 32-53.
- Sharkey, B. J. (1984). *Training for Cross-Country Ski Racing. A Physiological Guide for Athletes and Coaches*. Champaign: Human Kinetics.
- Skattebo, Ø., Losnegard, T., & Stadheim, H. K. (2019). Double-Poling Physiology and Kinematics of Elite Cross-Country Skiers: Specialized Long-Distance Versus All Round Skiers. *International journal of sports physiology and performance*, 1190–1199. Advance online publication. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0471>
- Smith G. A. (1990). Biomechanics of crosscountry skiing. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 9(5), 273–285. <https://doi.org/10.2165/00007256-199009050-00003>
- Smith G. A. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(9), 1015–1022.
- Solli G. S., Tønnessen E., Sandbakk Ø. (2017). The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier. *Front. Physiol.* 8:1069 [10.3389/fphys.2017.01069](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01069)
- Solli GS, Kocbach J, Seeberg TM, Tjønnås J, Rindal OMH, et al. (2018) Sex-based differences in speed, sub-technique selection, and kinematic patterns during low- and high-intensity training for classical cross-country skiing. *PLOS ONE* 13(11): e0207195. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207195>
- Solli, G. S., Tønnessen, E., & Sandbakk, Ø. (2019). Block vs. Traditional Periodization of HIT: Two Different Paths to Success for the World's Best Cross-Country Skier. *Frontiers in physiology*, 10, 375. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00375>

- Stromme, S. B., Ingjer, F., & Meen, H. D. (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 42(6), 833–837.  
<https://doi.org/10.1152/jappl.1977.42.6.833>
- Støa, E. M., Helgerud, J., Rønnestad, B. R., Hansen, J., Ellefsen, S., & Støren, Ø. (2020). Factors Influencing Running Velocity at Lactate Threshold in Male and Female Runners at Different Levels of Performance. *Frontiers in physiology*, 11, 585267.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.585267>
- 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. *Journal of strength and conditioning research*, 24(5), 1340–1345. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc5f7b>
- Stöggl, T. L., & Holmberg, H. C. (2016). Double-Poling Biomechanics of Elite Cross country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(8), 1580–1589. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000943>
- Stöggl, T. L., & Sperlich, B. (2015). The training intensity distribution among well trained and elite endurance athletes. *Frontiers in physiology*, 6, 295.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00295>
- Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in physiology*, 5, 33. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00033>
- Stöggl, T. L., Hertlein, M., Brunauer, R., Welde, B., Andersson, E. P., & Swarén, M. (2020). Pacing, Exercise Intensity, and Technique by Performance Level in Long Distance Cross-Country Skiing. *Frontiers in physiology*, 11, 17.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00017>
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Müller, E. (2007). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 17(4), 362–372. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00589.x>
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M., & Holmberg, H. C. (2011). General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing?. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(6), 791–803.  
<https://doi.org/10.1111/j.16000838.2009.01078.x>



- Stöggl, T., Ohtonen, O., Takeda, M., Miyamoto, N., Snyder, C., Lemmettylä, T., Linnamo, V., & Lindinger, S. J. (2019). Comparison of Exclusive Double Poling to Classic Techniques of Cross-country Skiing. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(4), 760–772. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001840>
- Stöggl, T., Pellegrini, B., & Holmberg, H. C. (2018). Pacing and predictors of performance during cross-country skiing races: A systematic review. *Journal of sport and health science*, 7(4), 381–393. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2018.09.005>
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(6), 1087–1092. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>
- Støren, Ø., & Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Det medisinske, f. (2009). *Running and cycling economy in athletes; determining factors, training interventions and testing*. 413, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Medicine, Department of Circulation and Medical Imaging, Trondheim.
- Støren, Ø., Bratland-Sanda, S., Haave, M., & Helgerud, J. (2012). Improved VO<sub>2</sub>max and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume: a case study on an elite national cyclist. *Journal of strength and conditioning research*, 26(10), 2705–2711. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318241deec>
- Støren, Ø., Rønnestad, B. R., Sunde, A., Hansen, J., Ellefsen, S., & Helgerud, J. (2014). A time saving method to assess power output at lactate threshold in well-trained and elite cyclists. *Journal of strength and conditioning research*, 28(3), 622–629. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73e70>
- Støren, Ø., Ulevåg, K., Larsen, M. H., Støa, E. M., & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *Journal of strength and conditioning research*, 27(9), 2366–2373. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827f5427>



- Støren, Øyvind (2021), Jan Helgerud, Jan-Michael Johansen, Lars-Erik Gjerløw, Aanund Aamlid, Eva Maria Støa. Aerobic and anaerobic speed predicts 800 meter running performance in recreational runners. *Front. Physiol.* Accepted for publication Apr 2021.
- Sunde, A., Johansen, J. M., Gjøra, M., Paulsen, G., Bråten, M., Helgerud, J., & Støren, Ø. (2019). Stronger Is Better: The Impact of Upper Body Strength in Double Poling Performance. *Frontiers in physiology, 10*, 1091.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01091>
- Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of strength and conditioning research, 24*(8), 2157–2165.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>
- Svendsen, I. S., Killer, S. C., Carter, J. M., Randell, R. K., Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M. (2016). Impact of intensified training and carbohydrate supplementation on immunity and markers of overreaching in highly trained cyclists. *European journal of applied physiology, 116*(5), 867–877.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-016-3340-z>
- Terzis, G., Stattin, B., & Holmberg, H. C. (2006). Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports, 16*(2), 121–126.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2005.00463.x>
- Torvik P.-Ø., Solli G.S. and Sandbakk Ø. (2021). The Training Characteristics of World Class Male Long-Distance Cross-Country Skiers. *Front. Sports Act. Living* 3:641389. doi: 10.3389/fspor.2021.641389
- Turner, Anthony. (2009). *Training For Power: Principles And Practice*. Professional Strength and Conditioning. 20-32.
- Tønnessen E, Sylta Ø, Haugen TA, Hem E, Svendsen IS, et al. (2014) The Road to Gold: Training and Peaking Characteristics in the Year Prior to a Gold Medal Endurance Performance. *PLOS ONE* 9(7): e101796.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101796>

- Tønnessen, E., Haugen, T. A., Hem, E., Leirstein, S., & Seiler, S. (2015). Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *International journal of sports physiology and performance*, *10*(7), 835–839.  
<https://doi.org/10.1123/ijspp.2014-0431>
- Vandbakk, K., Welde, B., Kruken, A. H., Baumgart, J., Ettema, G., Karlsen, T., & Sandbakk, Ø. (2017). Effects of upper-body sprint-interval training on strength and endurance capacities in female cross-country skiers. *PloS one*, *12*(2), e0172706. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172706>
- Wagner P. D. (1996). A theoretical analysis of factors determining VO<sub>2</sub> MAX at sea level and altitude. *Respiration physiology*, *106*(3), 329–343.  
[https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(96\)00086-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(96)00086-2)
- Welde, B., Evertsen, F., Von Heimburg, E., & Ingulf Medbø, J. (2003). Energy cost of free technique and classical cross-country skiing at racing speeds. *Medicine and science in sports and exercise*, *35*(5), 818–825.  
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000064936.04725.FD>
- Welde, B., Stöggl, T. L., Mathisen, G. E., Supej, M., Zoppirolli, C., Winther, A. K., Pellegrini, B., & Holmberg, H. C. (2017). The pacing strategy and technique of male cross-country skiers with different levels of performance during a 15-km classical race. *PloS one*, *12*(11), e0187111.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187111>
- Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high intensity interval training by well-trained cyclists. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *75*(1), 7–13.  
<https://doi.org/10.1007/s004210050119>
- Zoppirolli, C., Hébert-Losier, K., Holmberg, H. C., & Pellegrini, B. (2020). Biomechanical determinants of cross-country skiing performance: A systematic review. *Journal of sports sciences*, *38*(18), 2127–2148.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1775375>

- Zoppirolli, C., Holmberg, H. C., Pellegrini, B., Quaglia, D., Bortolan, L., & Schena, F. (2013). The effectiveness of stretch-shortening cycling in upper-limb extensor muscles during elite cross-country skiing with the double-poling technique. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 23(6), 1512–1519. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.08.013>
- 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. *European journal of applied physiology*, 88(3), 255–263. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0717-y>
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 93(4), 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>
- Åstrand, P.-O., & Rodahl, K. (2003). *Textbook of work physiology : physiological bases of exercise* (4th ed. utg.). Champaign, Ill: Human Kinetics.