

**Øyvind Trøen**

## **Effekter av samtidig utholdenhet- og styrketrening på utholdenhetsprestasjon og fysiologiske faktorer bestemmende for utholdenhetsprestasjon hos kvinnelige mosjonister**

Samtidig utholdenhet- og styrketrening kan bedre utholdenhetsprestasjon gjennom fibertypeovegang og endret rekruttering.

**Masteroppgave i idrettsvitenskap**

Seksjon for fysisk prestasjonsevne  
Norges idrettshøgskole, 2013



## Sammendrag

Formålet med denne studien var å undersøke om vi ved å legge styrketrening til den vanlige utholdenhetstreningen hos utholdenhetsutøvere (*U & S*) kunne få en gunstig effekt på forskjellige faktorer bestemmende for utholdenhetsprestasjon i sykling. Hovedproblemstillingen var: Vil *U & S* gi større fremgang i utholdenhetsprestasjon enn utholdenhetstrening (*U*) alene?

Tjuefem utholdenhetstrenerkvinner med alder  $32.9 \pm 7.8$  år ( $\pm$  SD) ble inkludert. Ingen av forsøkspersonene hadde drevet med systematisk styrketrening de siste 6 måneder før prosjektets start. 11 forsøkspersoner i *U & S* og 8 forsøkspersoner i *U* gjennomførte alle testene. For biopsidata var det data fra 8 forsøkspersoner fra begge grupper som kunne brukes. Etter pretester ble forsøkspersonene (FP) matchet for  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  og trukket parvis til å være i *U & S* eller *U* gruppen. Alle FP ble bedt om å trene minst 2 løpeøkter og minst 2 sykkeløkter i uka. I tillegg skulle *U & S* trene 2 styrkeøkter per uke. Styrkeøvelsene bestod av 4 øvelser på beina, og ble utført som 3 serier med 4-10 RM (repetisjoner maksimum, progresjon i belastning). Alle FP skrev treningsdagbok i intervensjonsperioden.

Før og etter intervensjonen som varte i 11 uker, ble følgende tester gjennomført; 1 RM beinpress, laktatprofil og arbeidsøkonomi, 40 min all-out sykling, fibertyping på muskelbiopsier fra m. vastus lateralis og kroppssammensetning med DXA.

*U & S* fikk  $39 \pm 19$  % økning i 1 RM beinpress og  $3 \pm 4$  % økning i lean body mass (LBM) i beina; til forskjell fra *U* som ikke fikk endring i 1 RM og fikk reduksjon i LBM på  $2 \pm 2$  % (samtlige  $P < 0.05$ ). Ingen av gruppene endret  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i relative verdier. *U & S* fikk  $3 \pm 5$  %-poeng bedre estimert utnyttingsgrad og  $3 \pm 4$  %-poeng bedre arbeidsøkonomi ved sykling på 125 W ( $P < 0.05$ ). *U* fikk ingen endring i utnyttingsgrad eller arbeidsøkonomi. *U & S* fikk  $6.4 \pm 7.9$  % økning i gjennomsnittswatt i relative verdier på 40 minutter all-out sykkeltest ( $P < 0.05$ ). *U* fikk en usignifikant økning på  $2.0 \pm 6.1$  %. *U & S* fikk fibertypeovergang fra hybridfibere type IIA/IIX (pre-verdier  $9 \pm 7$  %,  $P < 0.05$ ) til type IIA slik at alle hybridfibere type IIA/IIX ble borte. *U* fikk ingen signifikant fibertypeovergang. Endring i andel IIA/IIX fibre hadde stor negativ korrelasjon med endring i prestasjon ( $r = 0.62$ ,  $P < 0.05$ ). Konklusjonen er at *U & S* ser ut til å kunne gi større fremgang på utnyttingsgrad, arbeidsøkonomi og prestasjon enn *U*, mens det gir ingen påvirkning på  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ . Våre funn antyder at økt styrke i arbeidsøkonomiske muskelfibre og fibertypeovergang til mer arbeidsøkonomiske muskelfibre kan være potensielle faktorer som førte til høyere gjennomsnittseffekt på 40 min all-out sykkeltest hos *U & S*.

## Forord

Nå er endelig oppgaven klar til å leveres og det er mange som skal takkes for sine bidrag til det ferdige produktet.

**Bent Rønnestad** –Takk for god veiledning, og tilbakemeldinger raskere enn lynet når det har trengtes.

**Truls Raastad** –Takk for stødige tilbakemeldinger og veiledning, du har jammen full kontroll. Takker også for ekspertisen ved biopsitaking.

**Olav Vikmoen** –Takk for at jeg fikk være med i ditt prosjekt, og for mange lærerike samtaler under våre mange timer sammen på labben. Lykke til videre i arbeidet mot din PhD!

**Erika Zacharoff Moland** –Takker spesielt for all hjelp i forbindelse med fiksering, merking, og analysering av muskelbiopsier, men også for alle råd og vink innenfor alle aspekter i arbeidet mot en ferdig masteroppgave.

**Marita** og resten av gjengen på patologisk avdeling på Sykehuset i Lillehammer –Takk for at dere tålmodig lot meg bruke deres fine utstyr. Marita, takk for utfyllende svar hver gang et spørsmål dukket opp.

**Forsøkspersonene** –Takk for at dere alltid ga alt, var punktlig, og var villige til å score høyt på Borgs RPE utallige ganger.

# Innhold

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sammendrag</b> .....  | <b>3</b>  |
| <b>Forord</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>Innhold</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>Forkortelser</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>1. Introduksjon</b> .....   | <b>10</b> |
| 1.1 <b>Hypotese</b> .....  | <b>10</b> |
| 1.1.1 Underhypoteser.....  | 10        |
| <b>2. Teori</b> .....  | <b>11</b> |
| 2.1 <b>Bestemmende fysiologiske faktorer for utholdenhetsprestasjon</b> .....            | <b>11</b> |
| $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$ .....  | <b>12</b> |
| Begrensende faktorer for $\dot{V}O_{2maks}$ .....  | 13        |
| 2.1.1 Utnyttingsgrad og prestasjons- $\dot{V}O_2$ .....                                  | 13        |
| 2.1.2 Arbeidsøkonomi .....   | 15        |
| <b>Hastighet/effekt på LT</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>Effekter av U &amp; S på determinanter for utholdenhetsprestasjon på sykkel</b> ..... | <b>17</b> |
| 2.1.3 Effekt av <i>U</i> & <i>S</i> på $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$ .....                 | 17        |
| 2.1.4 Effekt av <i>U</i> & <i>S</i> på utnyttingsgrad og laktatterskel .....             | 18        |
| 2.1.5 Effekt av <i>U</i> & <i>S</i> på Arbeidsøkonomi .....                              | 19        |
| (1) Endret rekruttering.....   | 19        |
| (2) Fibertypeovergang .....  | 20        |
| (3) Endringer i tråkkfrekvens .....  | 20        |
| (4) Senestivhet.....   | 21        |
| (5) Rate of force development (RFD) .....  | 21        |
| 2.1.6 Effekter av <i>U</i> & <i>S</i> på prestasjon .....                                | 22        |
| <b>3. Materiale og metoder</b> .....   | <b>24</b> |
| 3.1 <b>Forsøkspersoner</b> .....   | <b>24</b> |
| 3.2 <b>Intervensjon</b> .....  | <b>24</b> |
| 3.2.1 Styrketrening ( <i>U</i> & <i>S</i> ).....   | 24        |
| 3.3 <b>Tester</b> .....  | <b>26</b> |
| 3.4 <b>1RM beinpress</b> .....   | <b>26</b> |
| 3.5 <b>Muskelbiopsier</b> .....  | <b>26</b> |
| 3.5.1 Biopsitaking .....   | 26        |
| 3.5.2 Immunohistokjemi .....   | 27        |
| 3.5.3 Analysering av muskelbiopsier.....   | 28        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.6       | Arbeidsøkonomi ved submaksimale belastninger (laktatprofil) $\dot{V}O_{2maks}$ og $W_{maks}$ ..... | 29        |
| 3.7       | 40 minutter all-out sykling .....  | 29        |
| 3.8       | Statistikk .....   | 30        |
| <b>4.</b> | <b>Resultater.....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1       | Baselineverdier .....  | 31        |
| 4.2       | 1RM beinpress.....   | 31        |
| 4.3       | Kroppssammensetning .....  | 31        |
| 4.4       | $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$ .....  | 33        |
| 4.5       | Utnyttingsgrad .....   | 34        |
| (1)       | Effekt ved $[La]$ 3.5 mMol/L.....  | 35        |
| (2)       | $\dot{V}O_2$ ved $[La]$ 3.5 mMol/L.....  | 35        |
| 4.5.2     | Trinnvis test (laktatprofil og arbeidsøkonomi) .....   | 36        |
| 4.6       | Fibertypesammensetning .....   | 38        |
| 4.7       | 40 min all-out utholdenhetsprestasjon .....  | 39        |
| 4.8       | Korrelasjoner .....  | 39        |
| <b>5.</b> | <b>Diskusjon .....</b>   | <b>43</b> |
| 5.1       | 1RM beinpress.....   | 43        |
| 5.2       | $LBM_{bein}$ .....   | 44        |
| 5.3       | $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$ .....  | 45        |
| 5.4       | Utnyttingsgrad og laktatterskel .....  | 46        |
| 5.5       | Arbeidsøkonomi .....   | 48        |
| 5.6       | HF under trinnvis test .....   | 49        |
| 5.7       | Borgs RPE .....  | 49        |
| 5.8       | Fibertypesammensetning .....   | 50        |
| 5.9       | 40 min all-out utholdenhetsprestasjon .....  | 51        |
| <b>6.</b> | <b>Konklusjon.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>7.</b> | <b>Vedlegg .....</b>   | <b>64</b> |
| 7.1       | Vedlegg nummer 1 .....   | 64        |
| 7.1.1     | Program for forberedelse av vevsprøver i Exelsior ES, Thermo Scientific, Rockford, IL, USA .....   | 64        |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>7.2</b> | <b>Vedlegg nummer 2</b> .....                                | <b>65</b> |
| 7.2.1      | Forbehandling av snitt for immunhistokjemisk infarging ..... | 65        |

## Forkortelser

|                     |   |
|---------------------|---|
| ADP                 | Adenosin difosfat                         |
| [ADP]               | Intracellulær konsentrasjon av ADP        |
| AMP                 | Adenosin monofosfat                       |
| [AMP]               | Intracellulær konsentrasjon av AMP        |
| ATP                 | Adenosin trifosfat                        |
| CSA                 | Muskeltverrsnittareal                     |
| FFA                 | Frie fettsyrer                            |
| Hb                  | Hemoglobin                                |
| HF                  | Hjertefrekvens (slag per minutt)          |
| HF <sub>maks</sub>  | Maksimal hjertefrekvens (slag per minutt) |
| IGF-1               | Insulin-like growth factor 1              |
| KM                  | Kroppsmasse                               |
| [La <sup>-</sup> ]  | laktatkonsentrasjon i blodet              |
| LBM                 | Lean body mass                            |
| LBM <sub>bein</sub> | Lean body mass bein                       |
| LT                  | laktatterskel                             |
| LT $\dot{V}O_2$     | Oksygenopptaket på laktatterskel          |
| m. VL               | m. vastus lateralis                       |
| MyHC                | Myosin heavy chain                        |
| NS                  | Ikke signifikant                          |
| PO                  | Power output                              |
| RM                  | Repetisjoner maksimum                     |
| RE                  | arbeidsøkonomi                            |
| RFD                 | Rate of force development                 |
| U                   | Gruppe som trente kun utholdenhet         |



|                           |  |
|---------------------------|--|
| U & S                     | Gruppe som trente samtidig utholdenhet og styrke                 |
| $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ | maksimalt oksygenopptak  |
| W/kg                      | Watt per kilo kroppsvekt   |
| $W_{\text{maks}}$         | Watt produsert på intensitet tilsvarende maksimalt oksygenopptak |

# 1. Introduksjon

Den mest åpenbare måten å trene for å bedre utholdenhetsprestasjonen i sykling er å sykle. De senere årene har det imidlertid blitt forsket på om styrketrening i tillegg til utholdenhetstreningen kan bedre utholdenhetsprestasjonen i sykling. Det er foreslått flere mekanismer for hvorfor man kan få et prestasjonsløft av å legge til styrketrening til den vanlige utholdenhetstreningen. Blant foreslåtte potensielle mekanismer er det foreslått bedre arbeidsøkonomi og bedre utnyttingsgrad som følge av *U & S* (Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2010). Arbeidsøkonomien er foreslått å kunne bedres gjennom endret rekruttering av muskelfibere, og fibertypeovergang fra type IIX til type IIA muskelfibere. Utnyttingsgraden er foreslått å kunne bli bedre på grunn av blant annet fibertypeovergang fra IIX til IIA muskelfibere, og større muskelmasse som deler på arbeidet som følge av hypertrofi.

På bakgrunn av dette gjennomførte vi denne studien for å finne ut mer om effekten av samtidig utholdenhet og styrketrening på utholdenhetsprestasjon i sykling, og på bestemmende faktorer for prestasjonen.

## 1.1 Hypotese

Kan styrketrening som et supplement til den vanlige utholdenhetstreningen gi større fremgang på sykkelprestasjon enn utholdenhetstrening alene?

### 1.1.1 Underhypoteser

- Kan *U & S* føre til bedre arbeidsøkonomi som følge av:
  - Endret rekruttering av muskelfibere.
  - Fibertypeovergang fra IIX til IIA muskelfibere.
- Kan *U & S* føre til bedre utnyttingsgrad som følge av:
  - Større muskelmasse i beina
  - Fibertypeovergang fra IIX til IIA muskelfibere.

## 2. Teori

Den mest åpenbare måten å trene for å bedre utholdenhetsprestasjonen i sykling er å sykle. De senere årene har det imidlertid blitt forsket på om styrketrening i tillegg til utholdenhetsstreningen kan bedre utholdenhetsprestasjonen i sykling. Det har blitt gjort studier som taler for en bedret utholdenhetsprestasjon ved samtidig utholdenhet- og styrketrening (*U & S*) (Aagaard et al., 2011; Hickson, Dvorak, Gorostiaga, Kurowski, & Foster, 1988; Izquierdo, Exposito, Garcia-Pallare, Medina, & Villareal, 2010; Losnegard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Det er imidlertid også gjort studier der man ikke har funnet en bedre effekt av *U & S* i forhold til utholdenhetstrening alene (*U*) (Bastiaans, van Diemen, Veneberg, & Jeukendrup, 2001; Bishop, Jenkins, Mackinnon, McEniery, & Carey, 1999; Levin, Mcguigan, & Laursen, 2009). Det ser ut til at disse sprikende funnene kan skyldes forskjeller i treningsvolum og utførelse av styrketreningen. I denne masteroppgaven har det blitt brukt en styrketreningsprotokoll som legger vekt på å øke den maksimale styrken i beina. Det har videre blitt undersøkt hvordan oppstart av denne typen styrketrening sammen med fortsettelse av utholdenhetstrening påvirker utholdenhetsprestasjon og fysiologiske faktorer bestemmende for prestasjonen på en 40 minutter all-out test i sykling. Det ble brukt en kontrollgruppe som fortsatte sin utholdenhetstrening uten å trene styrke i tillegg. Ingen av forsøkspersonene hadde drevet med systematisk styrketrening de 6 siste månedene før prosjektets oppstart.

### **2.1 Bestemmende fysiologiske faktorer for utholdenhetsprestasjon**

For å forstå hvordan styrketrening kan påvirke utholdenhetsprestasjon bør man ha innsikt i hvilke fysiologiske faktorer som bestemmer prestasjonen. Pate & Kriska (1984) foreslo en modell for de viktigste determinantene for prestasjon i langvarige konkurranser der aerob utholdenhet bestemmer prestasjonen. Denne modellen inkluderer i) maksimalt oksygenopptak, ii) utnyttingsgrad, og iii) arbeidsøkonomi. Denne modellen får støtte fra Joyner (1991), som foreslo følgende formel for gjennomsnittsfart i et optimalt maratonløp:

Gjennomsnittsfart =  $\dot{V}O_{2maks}$  (ml·kg<sup>-1</sup>·min) · % $\dot{V}O_{2maks}$  på LT · RE [km · h<sup>-1</sup> ·  $\dot{V}O_2^{-1}$  (ml · kg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>)<sup>1</sup>].

Enklere forklart blir dette:

$$\text{Gjennomsnittsfart} = \frac{\dot{V}O_{2maks} \cdot \% \dot{V}O_{2maks} \text{ på LT}}{\text{Arbeidsøkonomi}}$$

Joyner (1991) mener at denne modellen stemmer bra på løpsdistanser  $\geq 3000$  m (konkurransesikkerhet på  $\geq 7.5$  min). Coyle, (1995) støtter denne modellen, og mener at den passer for utholdenhetsidretter som langdistanseløping, sykling, kappgang og lignende. Under laboratorieundersøkelser på sykkel byttes gjennomsnittsfart ut med gjennomsnittseffekt som et mål på prestasjonen (Coyle, 1995).

### $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$

$\dot{V}O_{2maks}$  er definert som den høyeste mengden oksygen som kan bli tatt opp og omsatt av kroppen ved intensivt arbeid (Bassett & Howley, 2000). I vitenskapelig litteratur er økning i  $\dot{V}O_{2maks}$  blant de vanligste metodene for å påvise en effekt av utholdenhetstrening (Bassett & Howley, 2000). En høy  $\dot{V}O_{2maks}$  er viktig for å kunne prestere på høyt nivå i utholdenhetsidrett fordi  $\dot{V}O_{2maks}$  setter den øvre grensen for LT  $\dot{V}O_2$  og dermed øvre grense for langvarig steady-state muskelarbeid (Bassett & Howley, 2000; Coyle, 1995).

$W_{maks}$  er den høyeste effekten en utøver oppnår under en  $\dot{V}O_{2maks}$  test (trappetest) (Jones & Carter, 2000).  $W_{maks}$  bestemmes av utøverens  $\dot{V}O_{2maks}$ , arbeidsøkonomi, anaerob kapasitet og muskelstyrke (Jones & Carter, 2000). Det finnes gode evidens for at  $W_{maks}$  kan brukes som en prediktor for sykkelprestasjon (Balmer, Davison, & Bird, 2000; Bentley, Wilson, Davie, & Zhou, 1998; Hawley & Noakes, 1992). Det er funnet signifikant korrelasjon ( $r = -0.91$ ,  $P < 0.001$ ) mellom  $W_{maks}$  under en gradvis økende test og prestasjon på 20 km sykkeltest (Hawley & Noakes, 1992). I tillegg er forskjell i  $W_{maks}$  vist å være en faktor som skiller elitesyklister fra profesjonelle syklister selv om de to gruppene har lik  $\dot{V}O_{2maks}$  (Lucia, Pardo, Durantez, Hoyos, & Chicharro, 1998).

---

<sup>1</sup>  $\dot{V}O_{2maks}$  = Maksimalt oksygenopptak, LT = Laktatterskel, RE = Løpsøkonomi.

## Begrensende faktorer for $\dot{V}O_{2\text{maks}}$

På vei fra atmosfæren til mitokondriet må  $O_2$  transporteres gjennom flere steg. Disse stegene involverer 1) gassutveksling i lungene, 2) transport i blod ved sirkulasjon til muskelkapillærene, og til slutt avlevering av  $O_2$ -molekyler fra Hb i muskelkapillærene til mitokondriene (Weibel, 1984). Hvert av disse stegene kan være et potensielt hinder for  $O_2$  leveranse til mitokondriene. I tillegg kan musklens evne til å nyttiggjøre seg oksygenet i enkelte situasjoner være en begrensende faktor for  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  (Bassett & Howley, 2000). Tross alle disse mulige begrensende faktorene tyder forskning på at den viktigste begrensende faktoren er hjerterventrikkelens maksimale minuttvolum ( $\dot{Q}$ ) som står for 70-85% av variasjonen i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  (Cerretelli & Prampero, 1987).  $\dot{Q}$  er et produkt av hjertefrekvens (HF) målt i slag per minutt og slagvolum. Den maksimale hjertefrekvensen ( $HF_{\text{maks}}$ ) er tilnærmet upåvirket av treningstilstand (Ekblom, Astrand, Saltin, Stenberg, & Wallström, 1968; Wilmore, Costill, & Kenney, 2004). Tidlig på 1930-tallet oppdaget E. H. Christensen (sitert av (Bassett & Howley, 2000)) at trente individer hadde lavere HF på en gitt submaksimal belastning, noe som indikerte økt slagvolum. I tillegg er det vist at normalfordelingen av  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ -verdier ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) målt på utrente og trente kvinner og menn med lik alder forklares primært av forskjeller i hjertets maksimale slagvolum. Dette har man kommet frem til ved at det har blitt observert kun små forskjeller i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  ut fra  $HF_{\text{maks}}$  (Bassett & Howley, 2000).

### 2.1.1 Utnyttingsgrad og prestasjons- $\dot{V}O_2$

Hvor mye energi en utøver klarer å omsette i en langvarig konkurranse henger hovedsakelig sammen med utøverens «prestasjons- $\dot{V}O_2$ », som er hvor mye oksygen utøveren klarer å ta opp per tidsenhet under hele konkurransens varighet (Joyner & Coyle, 2008). «Prestasjons- $\dot{V}O_2$ » (av engelsk performance  $\dot{V}O_2$ ) blir ofte kalt aerob kapasitet på norsk (Aasen et al., 2008) og vil være avhengig av bl.a. konkurransens varighet. Prestasjons- $\dot{V}O_2$  er i hovedsak bestemt av  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  og  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT (Joyner & Coyle, 2008). Dersom den aerobe kapasiteten uttrykkes som  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  kaller vi det utøverens utnyttelsesgrad (Costill, Thomason, & Roberts, 1973). Utnyttingsgraden er bedre hos godt trente enn hos utrente, noe som gjenspeiles i at  $[La^-]$  øker ved  $\approx 60\%$   $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  hos utrente, mens det hos godt trente ikke skjer før ved 75-85%  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  (Joyner & Coyle, 2008). Utnyttingsgraden reduseres gradvis når varigheten på arbeidet øker (Hallén, 2002). Den aerobe kapasiteten henger sammen med oksygenopptaket der laktat begynner å akkumuleres i blodet, her forkortet med termen LT  $\dot{V}O_2$  (Costill et al., 1973;

Coyle, Coggan, Hopper, & Walters, 1988). Maksimalt oksygenopptak setter den øvre grensen for  $LT \dot{V}O_2$ . Dermed er den øvre grensen for  $LT \dot{V}O_2$  begrenset primært av ( $\dot{Q}$ ), mens når oksygentilførselen er tilstrekkelig er det den arbeidende muskulaturens kvalitet som bestemmer hvor mye oksygen den arbeidende muskulaturen kan nyttiggjøre seg per tidsenhet uten å forstyrre homeostasen så mye at glykogenolysen og laktatproduksjonen blir betraktelig stimulert (Coyle, 1995). Mange funn viser at aerob enzymaktivitet er en sentral determinant for grad av metabolsk stress i muskelen under anstrengelse (Burke, Cerny, Costill, & Fink, 1977; Costill et al., 1976; Holloszy & Coyle, 1984; Ivy, Withers, Van Handel, Elger, & Costill, 1980; Sjodin, Jacobs, & Karlsson, 1981). I tillegg er det funn som antyder at høy kapillærtetthet kan ha positiv innvirkning på utnyttingsgraden (Joyner & Coyle, 2008). Høy kapillærtetthet gir forutsetning for god  $O_2$  og substrattilførsel, og fjerning av metabolitter som er assosiert med muskulær tretthet, for eksempel hydrogenioner (Joyner & Coyle, 2008).

Muskel glykogenolysen og laktatproduksjon blir stimulert ved økende arbeidsintensitet som et resultat av forstyrrelser i muskelcellehomeostasen, som økt konsentrasjon av adenosin difosfat (ADP) og adenosin monofosfat (AMP), på grunn av ATP som spaltes (Holloszy & Coyle, 1984). Dersom det er et lite mitokondriearreal som må dekke muskelens ATP behov under et intensivt arbeid må mitokondriene utsettes for høye konsentrasjoner av ADP og AMP for å dekke ATP behovet for en gitt effekt (Coyle, 1995). Dermed blir også glykogenolysen stimulert mye, og muskelcellen blir utsatt for høye konsentrasjoner av anaerobe metabolitter som kan fremkalle tretthet (Coyle, 1995). Utholdenhetstrening med tilstrekkelig progresjon gir økning i mitokondriearreal og dermed økning i mengden aerobe enzym (Holloszy, 1967). Ved et større mitokondriearreal vil en større del av energikravet dekkes ved aerob energiomsetning i mitokondriene ved samme arbeidsbelastning (Coyle, 1995). Dette fører til at homeostasen blir forstyrret i mindre grad, og glykogenolysen og laktatproduksjonen blir mindre på en gitt effekt/ATP turnover/ $\dot{V}O_2$  (Coyle, 1995). I tillegg vil substrattilgjengelighet (frie fettsyrer og pyruvat) og den relative aktiviteten til katalysatorene som omgjør respektive substrat til acetyl-CoA være avgjørende for hva slags substrat som nyttiggjøres (Holloszy & Coyle, 1984).

Strategier for å øke mitokondriearialet som dekker ATP behovet i et arbeid inkluderer ikke bare å øke mitokondrietettheten i en gitt muskelmasse, men også å øke

muskelmassen som deler på arbeidet (Coyle, 1995). En studie viste at syklister som var flinke til å bruke hofteekstensorene fikk høyere LT  $\dot{V}O_2$  (Coyle, 1995). Det har på grunn av dette blitt spekulert i om  $U$  &  $S$  kan bidra til å øke LT  $\dot{V}O_2$  fordi  $U$  &  $S$  kan føre til økning i massen til de involverte muskler som demonstrert av (Rønnestad et al., 2010).

Betydningen av LT  $\% \dot{V}O_{2maks}$  for utholdenhetsprestasjon ble tydeliggjort av Coyle et al., (1988) når de fant at to grupper med godt trente syklister med like  $\dot{V}O_{2maks}$ -verdier, men med store forskjeller i laktatkonsentrasjon ved  $88\% \dot{V}O_{2maks}$  mellom gruppene ga veldig store forskjeller mellom gruppene i tid til utmattelse, blodlaktatkonsentrasjon og glykogentømming på  $88\% \dot{V}O_{2maks}$ . Dette indikerer at tid til utmattelse på et submaksimalt arbeid henger tett sammen med LT  $\% \dot{V}O_{2maks}$  og faktorene som kontrollerer glykogenolysen og  $[La^-]$  (Coyle et al., 1988). Det var også tidligere vist av den samme forskningsgruppen at en gruppe menn med iskemisk hjertesykdom kunne fullføre en 8 km løpstest på samme hastighet som en gruppe friske menn, selv om den friske gruppen hadde 22% høyere  $\dot{V}O_{2maks}$ , og det var ingen forskjell i arbeidsøkonomi mellom de to gruppene (Coyle et al., 1983). Disse to studiene sammen viste at  $\dot{V}O_{2maks}$  setter den øvre grensen for maksimalt steady-state arbeid som er mulig, da gruppen med iskemisk hjertesykdom løp hele sin test på  $100\% \dot{V}O_{2maks}$ . Studiene viste videre at LT  $\% \dot{V}O_{2maks}$  kan variere betydelig innenfor grensen satt av  $\dot{V}O_{2maks}$ , og at LT  $\% \dot{V}O_{2maks}$  kan være en god prediktor for utholdenhetsprestasjon.

### **2.1.2 Arbeidsøkonomi**

Dette er målet på effekt eller hastighet produsert i forhold til energiforbruket målt fra  $\dot{V}O_2$  på en submaksimal arbeidsbelastning (Coyle, 1995). Arbeidsøkonomi kan være oppgitt som hvilken hastighet eller effekt en utøver oppnår på et gitt submaksimalt  $\dot{V}O_2$ , eller som  $\dot{V}O_2$  kostnad for en gitt submaksimal hastighet eller effekt (Coyle, 1995). Arbeidsøkonomi blant veltrente syklister blir mest trolig hovedsakelig bestemt av fibertypesammensetning (Coyle, Sidossis, Horowitz, & Beltz, 1992), men også av aerob enzymaktivitet i arbeidende muskler og ekspresjon av de mitokondrierelaterte proteinene ANT og UCP3 (Hopker et al., 2009). Arbeidsøkonomi blant veltrente syklister ser ikke ut til å være relatert til teknikk i form av hvordan tråkket utføres

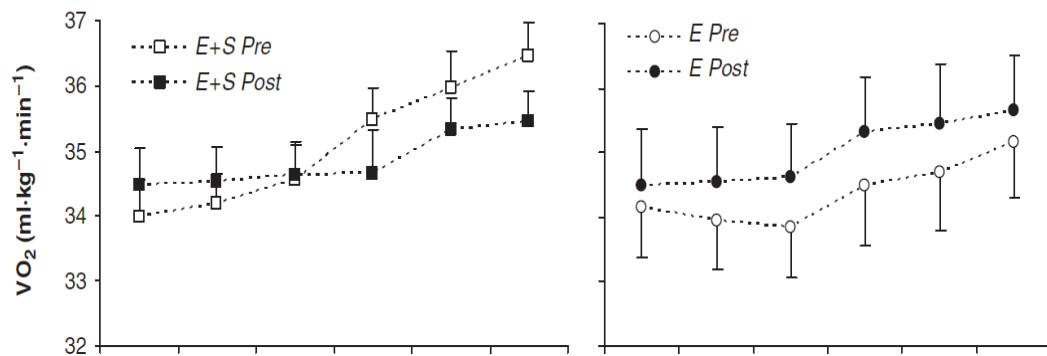
(Coyle et al., 1992), men påvirkes av valg av tråkkfrekvens (Chavarren & Calbet, 1999; Foss & Hallen, 2004; Lucia et al., 2004) og kan teoretisk påvirkes av fibertypeovergang både fra IIA til type I (Coyle et al., 1992) og fra type IIX til type IIA som undersøkt av (Aagaard et al., 2011). Det er uklart om en fibertypeovergang fra type IIA til type I kan skje som en følge av trening hos mennesker (Andersen & Aagaard, 2000). En forskningsstudie gjort på rotter fant en økning i andel type I fibre etter 15 uker med høyintensiv utholdenhetstrening (Green et al., 1984). Jansson & Hedberg, (1991) så i sin studie at de som hadde høy andel type I fibre var mer aktive, og valgte aktiviteter med større krav til aerob utholdenhet. Jansson og Hedberg, (1991) stilte spørsmål ved om andel type I fibre og aktivitetsnivå hang sammen på ved at de som er genetisk disponert for stor andel type I fibre er mer fysisk aktive, eller om det skjer en fibertypeovergang fra type II til type I ved trening.

De forskjellige muskelfibertypene har forskjellige egenskaper, inkludert forskjeller i arbeidsøkonomi. Type I muskelfiberne er mer arbeidsøkonomiske enn type IIA (Bottinelli & Reggiani, 2000; Coyle et al., 1992; Horowitz, Sidossis, & Coyle, 1994; Krstrup et al., 2008), og type IIX fiberne har dårligere arbeidsøkonomi enn type IIX (Bottinelli & Reggiani, 2000; Stienen, Kiers, Bottinelli, & Reggiani, 1996).

Dersom et arbeid pågår lenge nok og/eller intensiteten er tilstrekkelig, vil rekruttering av mer uøkonomiske muskelfibre for å opprettholde en gitt effekt kunne føre til dårligere arbeidsøkonomi (Wilmore et al., 2004). Dette øker  $\dot{V}O_2$ -kravet for den gitte belastningen og tydeliggjøres ved at  $\dot{V}O_2$  øker selv om belastningen er konstant. Økt  $\dot{V}O_2$  er sannsynligvis forårsaket av blant annet økt rekruttering av uøkonomiske type II muskelfibre (figur 1.1). Dette fenomenet heter « $\dot{V}O_2$  langsom komponent» (Gaesser & Poole, 1996). Det ser ut til at størstedelen (>≈80%) av « $\dot{V}O_2$  langsom komponent» skyldes faktorer i de arbeidende musklene (Gaesser & Poole, 1996).



Rønnestad et al.



Figur 2.1.  $\dot{V}O_2$  målinger hver halvtime under 185 minutter sykling på 44%  $\dot{V}O_{2maks}$ . Man ser at  $\dot{V}O_2$  øker underveis i arbeidet på grunn av « $\dot{V}O_2$  langsom komponent». Økningen i  $\dot{V}O_2$  underveis i arbeidet blir mindre etter utholdenhet og styrketrening enn etter kun utholdenhetstrening. I denne figuren er E + S utholdenhet- og styrketrening, mens E er utholdenhetstrening.<sup>2</sup>

### Hastighet/effekt på LT

Hastigheten er effekten en utøver generer på LT og blir bestemt av både LT  $\dot{V}O_2$  og arbeidsøkonomien (Coyle, 1995). Hastigheten på LT er derfor en veldig god prediktor for konkurransehastighet eller effekt i utholdenhetsidretter (Allen, Seals, Hurley, Ehsani, & Hagberg, 1985; Coyle, 1995).

### Effekter av U & S på determinanter for utholdenhetsprestasjon på sykkel

Det er i dag ikke entydig om U & S kan forbedre prestasjonsevnen i sykling mer enn U alene ut fra den forskning som er gjort. Det kan derfor være nyttig å se på hvordan U & S påvirker de forskjellige faktorene som blir regnet som viktige for prestasjonen i modellen til (Pate & Kriska, 1984) med utgangspunkt i det en allerede vet om muskulære tilpasninger til styrketrening.

#### 2.1.3 Effekt av U & S på $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$

Oppfatningen per dags dato er at U & S gir hverken positiv eller negativ effekt på  $\dot{V}O_{2maks}$  i sykling i forhold til U alene hos utholdenhetstrener (Aagaard et al., 2011; Hickson et al., 1988; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Det er derfor

<sup>2</sup> Fra *Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling*, av B.R. Rønnestad, E.A. Hansen og T. Raastad, 2011, *Scand J Med Sci Sports*, 21, s.254. Copyright 2009 John Wiley & Sons A/S.

sannsynligvis andre faktorer enn endret  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  som forklarer den forbedrede prestasjonsevnen hos  $U$  &  $S$  i forhold til  $U$ . Losnegård et al., (2011) som hadde en gruppe som trente  $U$  &  $S$  på både overkroppen og beina fant imidlertid en økning i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i skøyting (langrenn). Losnegård et al., (2011) mente imidlertid økningen i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  var relatert til tilpasninger i overkroppen som følge av  $U$  &  $S$ , og det er derfor ikke et motstridende funn i forhold til studiene med syklist.

Samtidig utholdenhet og tung styrketrening kan øke  $W_{\text{maks}}$  eller tid til utmattelse på  $W_{\text{maks}}$  (Hickson et al., 1988; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Eksplosiv styrketrening (Bastiaans et al., 2001) eller kortvarig styrkeintervensjon (6 uker) (Levin et al., 2009) har ikke gitt effekt på  $W_{\text{maks}}$ .

#### **2.1.4 Effekt av $U$ & $S$ på utnyttingsgrad og laktatterskel**

Utnyttingsgrad er en faktor som teoretisk kan endres som følge av  $U$  &  $S$  dersom muskelfibrene øker sitt volum uten at mitokondrietettheten blir dårligere. Dette med bakgrunn i at det har blitt foreslått at jo større mitokondriareal som deler på å resyntetisere ATP til et arbeid, jo høyere absolutt  $\dot{V}O_2$  kan en person arbeide på uten at  $La^-$  akkumuleres i blodet (Coyle, 1995). Ved  $U$  &  $S$  som kan føre til en fibertypeovergang fra type IIX fibre til type IIA muskelfibere kan i teorien mitokondrietettheten øke. Dette skyldes at type IIA muskelfibere er mer oksidative enn type IIX muskelfibere (Bassel-Duby & Olson, 2006; Herbison, Jaweed, & Ditunno, 1982). En annen mulighet å øke mitokondriarealet, som deler på et arbeid, og dermed få bedre utnyttingsgrad; er hvis en utøver blir bedre til å fordele et arbeid over et større muskelareal ved å bli bedre på å bruke tilgjengelige muskelgrupper for arbeidet (Coyle, 1995). Direkte måling av utnyttelsesgrad krever  $\dot{V}O_2$  målinger under en hel prestasjonstest. Dette er veldig ubehagelig for FP og blir sjelden gjort. Derfor blir som oftest  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT brukt som et indirekte mål på utnyttelsesgraden siden disse to er relatert til hverandre (Bassett & Howley, 2000). Det finnes nesten ikke studier som har sett på effekt av  $U$  &  $S$  på sykkelprestasjon som har oppgitt denne variabelen i relative verdier ( $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT) bortsett fra en studie av Sunde et al., (2010) der de ikke fant noen endring på denne variabelen, men derimot en forbedring i arbeidsøkonomi.

### 2.1.5 Effekt av *U* & *S* på Arbeidsøkonomi

Når det gjelder *U* & *S* sin effekt på arbeidsøkonomi i sykling er det gjort sprikende funn. Aagaard et al., (2011) og Rønnestad et al., (2010) fant ikke endring i arbeidsøkonomi hos *U* & *S* målt under 5 minutters arbeid på forskjellige submaksimale belastninger. Andre studier har funnet bedring i arbeidsøkonomi i sykling hos *U* & *S* (Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2011; Sunde et al., 2010). I studien til Rønnestad et al., (2011) ble det funnet at arbeidsøkonomien ble bedre den siste timen på en 3 timers test på 44% av  $W_{maks}$ . Rønnestad et al., (2011) foreslo på bakgrunn av dette at forskjeller i arbeidsøkonomi muligens først blir tydelige når tilstrekkelig tretthet begynner å oppstå hos forsøkspersonen. I så tilfelle vil trolig ikke drag av 5 minutters varighet på submaksimale belastninger som brukt av (Rønnestad et al., 2010) være nok til å fremkalle en forskjell mellom *U* & *S* og *U* i arbeidsøkonomi, men først bli fremtredende dersom arbeidet varer lenge nok som i studien til Rønnestad et al., (2011), eller arbeidet er hardt nok som funnet av Lucia et al., (2002). Lucia et al., (2002) fant at  $\dot{V}O_2$  økte fra 80 %  $\dot{V}O_{2maks}$  til  $\approx 86$  %  $\dot{V}O_{2maks}$  under et arbeid på konstant ytre belastning i 20 minutter. Forfatterne foreslo at dette skyldtes « $\dot{V}O_2$  langsom komponent» og økt rekruttering av type II fibre (Lucia, Hoyos, Perez, Santalla, & Chicharro, 2002)

#### (1) Endret rekruttering

En mulig mekanisme bak bedret arbeidsøkonomi som følge av *U* & *S* kan ligge i størrelsesprinsippet for rekruttering av motoriske enheter (Henneman, Somjen, & Carpenter, 1965). Under langvarig submaksimalt arbeid rekrutterer sentralnervesystemet først de muskelfiberne som er best tilpasset langvarig arbeid: Først og fremst type I og kanskje noen type IIA fibre dersom intensiteten er tilstrekkelig (Wilmore et al., 2004). Under arbeidet vil de arbeidende fiberne langsomt utvikle tretthet, og nervesystemet må rekruttere flere type IIA fibre for å kunne opprettholde intensiteten på arbeidet (Wilmore et al., 2004). Dersom arbeidet pågår lenge nok eller er intensivt nok vil type I og IIA fiberne utvikle så stor grad av tretthet at type IIX fibre må bli rekruttert (Wilmore et al., 2004). Etterhvert som motoriske enheter høyere i rekrutteringshierarkiet rekrutteres vil i teorien arbeidsøkonomien bli dårligere jo høyere opp i hierarkiet man kommer, da det er funnet at de raske glykolytiske muskelfiberne har dårligere arbeidsøkonomi enn de langsomme oksidative muskelfiberne (Horowitz et al., 1994; Krstrup et al., 2008; Stienen et al., 1996). Dersom styrketreningen har ført til en økning i beinstyrke vil utøveren i teorien kunne ligge på en lavere prosent av

maksimal kraftutvikling enn tidligere for å opprettholde en gitt effekt. Det har blitt spekulert i at det da kreves aktivering av færre motoriske enheter enn tidligere for å opprettholde denne bestemte belastningen når hver motoriske enhet har blitt sterkere, noe som teoretisk vil øke bidraget fra type I fibre og redusere bidraget fra type II fibre (Duchateau, Semmler, & Enoka, 2006; Hickson et al., 1988; Marcinik et al., 1991; Rønnestad et al., 2010). Dette kan resultere i redusert ATP forbruk per enhet av kontrakttil kraft i type II fiberne, og en mulig glykogensparende effekt i disse fiberne (Hickson et al., 1988). Dette kan være positivt i en konkurransesituasjon både ved at arbeidsøkonomien blir bedre, og ved at når det går lenger tid før type II fiberne blir brukt, vil de være i bedre stand til å opprettholde en gitt effekt senere i konkurransen eller til å bidra bedre i en eventuell spurt.

## **(2) Fibertypeovergang**

Ved oppstart av styrketrening er det vanlig at det skjer en fibertypeovergang fra type IIX til type IIA (Adams, Hather, Baldwin, & Dudley, 1993; Staron et al., 1994). I en studie av Aagaard et al., (2011) ble det funnet fibertypeovergang fra IIX til IIA hos *U* & *S*, mens det ikke ble funnet noen fibertypeovergang hos *U*. På den måten kan bidraget fra IIA muskelfibre bli økt og bidraget fra IIX muskelfibre redusert ved at det blir færre IIX fibre tilgjengelig.

## **(3) Endringer i tråkkfrekvens**

Selvvalgt tråkkfrekvens er ofte høy i forhold til hva som er gunstig for optimal arbeidsøkonomi hos mosjonister (Hansen, Raastad, & Hallén, 2007). Den generelle oppfatningen er at ved effekt under 350 W er det mer arbeidsøkonomisk å bruke lav tråkkfrekvens ( $\approx 50-70$  rpm) versus høyere tråkkfrekvens ( $>90$  rpm) (Lucia et al., 2004). Men ved økende absolutt effekt øker også den mest arbeidsøkonomiske tråkkfrekvensen (Foss & Hallen, 2004; Lucia et al., 2004). Proffsyklister har evnen til, og må ofte generere effekt  $\geq 350$  W under viktige faser av et sykkelritt (Lucia, Hoyos, & Chicharro, 2001). Det er målt at proffsyklister har bedre arbeidsøkonomi ved 100 versus 60 rpm når de arbeider på slike intensiteter  $\approx 370$  W (Lucia et al., 2004). Siden forsøkspersonene i denne masteroppgaven er kvinnelige mosjonister som har et betydelig lavere prestasjonsnivå enn proffsyklister kan man anta at de har gjennomsnittseffekt  $\leq 350$  W ved langvarig arbeid. Det er tidligere funnet at personer som har brukt sykkel kun til rekreasjon har fått lavere selvvalgt tråkkfrekvens som følge

av styrketrening (Hansen et al., 2007), men dette skjedde ikke hos veltrente syklister (Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2012). Det ble imidlertid ikke funnet noen korrelasjon mellom maksimal beinstyrke og selvvalgt tråkkfrekvens eller økning i maksimal beinstyrke og reduksjon i tråkkfrekvens. Gruppen til Rønnestad (2012) foreslo, som tidligere nevnt av Aagaard et al., (2000), at årsaken til reduksjon i tråkkfrekvens kan være at styrketrening kan nedregulere Ib afferente signaler fra kraftsensitive Golgi seneorganer på et gitt strekk i senen. Denne tilpasningen skyldes trolig mindre grad av deformasjon av Golgi seneorganer enn tidligere ved et gitt strekk i patellarsenen fordi senen har blitt stivere som følge av styrketrening (Kubo, Kanehisa, & Fukunaga, 2002). Med dette som bakgrunn kan det være interessant å se om tråkkfrekvens endrer seg hos  $U$  &  $S$  i forhold til  $U$ , hvordan dette påvirker arbeidsøkonomien, og om endringer i senestivhet er assosiert med endret tråkkfrekvens.

#### **(4) Senestivhet**

Det er vist at senestivhet kan øke som følge av styrketrening (Kubo et al., 2002), men det er usikkert om økt senestivhet har en direkte påvirkning på arbeidsøkonomien i sykling utover den mulige indirekte påvirkningen gjennom endring av tråkkfrekvens. I bevegelsesformen løping, som inneholder en strekk- forkortningssyklus (SSC) blir det i landingsfasen i hvert steg lagret energi i muskel- sene- enheten som blir frigjort igjen i skyvefasen (Bijker, De Groot, & Hollander, 2002). Dette muliggjør at gross mechanical efficiency (prosentandel effekt mot underlaget i forhold til det totale energiforbruket) kan bli mye høyere enn muscle efficiency (muskelens kraftutvikling i forhold til energiforbruket) (Ettema, 2001). I sykling derimot er arbeidet hovedsakelig konsentrisk (Bijker et al., 2002), og inneholder dermed ingen strekk- forkortningssyklus. Derfor er det usikkert om en økning i senestivhet vil ha noen direkte effekt på arbeidsøkonomi i sykling.

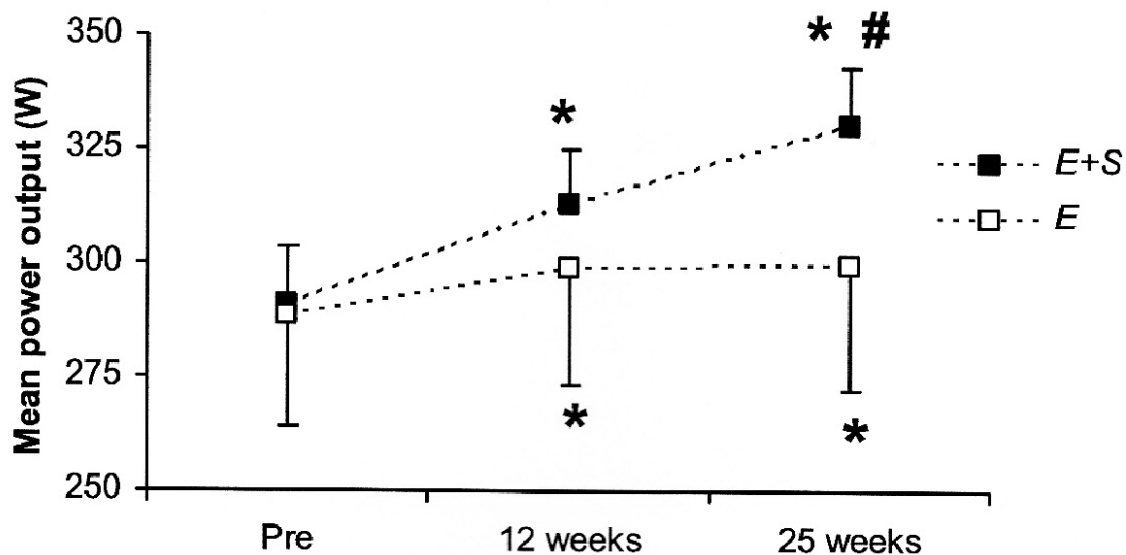
#### **(5) Rate of force development (RFD)**

Flere studier har funnet at  $U$  &  $S$  har ført til økt RFD (evne til å utvikle kraft hurtig) (Aagaard et al., 2011; Østerås, Helgerud, & Hoff, 2002; Sunde et al., 2010). Det er blitt foreslått at høyere RFD kan forbedre prestasjonen i utholdenhetsidretter ved at høyere RFD i teorien kan gi muskelaksjoner av kortere varighet ved en gitt effekt, noe som vil øke lengden på hver mikropause (tid der muskelen er avslappet) mellom hver muskelaksjon (Aagaard & Andersen, 2010). Lengre mikropauser vil redusere

kontraksjonsindusert okklusjon og øke gjennomblødningstiden til muskelen gjennom dens kapillærer (Aagaard & Andersen, 2010). Bedre muskelperfusjon som følge av lenger mikropause per syklus kan føre til at de rekrutterte muskelfiberne blir mer motstandsdyktige mot tretthet. Mekanismer bak dette kan være at muskelfiberne i større grad kan ta opp frie fettsyrer (FFA) fra blodbanen og dermed spare muskelglykogenlagrene (Kiens, Essen-Gustavsson, Christensen, & Saltin, 1993), og får bedre fjerning av metabolitter (Aagaard & Andersen, 2010). Marcinik et al., (1991) og Østerås et al., (2002) har foreslått at økt RFD ved å øke O<sub>2</sub>- og substrattilgjengelighet samt fjerning av metabolitter fra arbeidende muskulatur kan gjøre arbeidende muskelfibere mer resistente mot tretthet og motvirke rekrutteringen av uøkonomiske muskelfibere høyere i rekrutteringshierarkiet.

### **2.1.6 Effekter av *U* & *S* på prestasjon**

Det foreligger forskning som tyder på at *U* & *S* kan ha en positiv effekt på utholdenhetsprestasjon i forhold til *U* alene (Aagaard et al., 2011; Hickson et al., 1988; Izquierdo et al., 2010; Losnegard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Aagaard et al., (2011) og Rønnestad et al., (2010) brukte prestasjonstester på henholdsvis 45 og 40 (figur 1.2) minutter all-out på ergometersykkel, og fant større økning i gjennomsnittseffekt produsert hos *U* & *S* enn *U*. En del av studiene som har funnet prestasjonsfremmende effekt av *U* & *S* på sykkelprestasjon har til felles at de har brukt styrketreningsregimer laget for å påvirke 1RM ved å trene med få repetisjoner og tunge vekter (4-10RM etter en innkjøringsperiode) (Aagaard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Studier som ikke har funnet positiv effekt av samtidig styrke og utholdenhets trening har hatt styrketreningsprotokoller med typisk «power-trening» som for eksempel 30 repetisjoner der FP klarte å gjøre de 20 første repetisjonene eksplosivt (Bastiaans et al., 2001), eller både «power»-, hypertrofi- og få repetisjoner og tunge vekter samme uke (Levin et al., 2009).



Figur 2.2. Gjennomsnittseffekt på 40 minutter all- out prestasjonstest pre, etter 12 uker med utholdenhet- og styrketrening (i denne figuren E + S), uke 12 og uke 25. Uke 12-25 hadde E + S noe redusert volum på styrketreningen (konkurransperiode). I denne figuren er E gruppen som trente kun utholdenhet. \*Høyere enn ved pre ( $P < 0.05$ ). #Den relative forandringen er større enn for E ( $P < 0.01$ ).<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Fra Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling, av B.R. Rønnestad, 2010, Dissertation From The Norwegian School Of Sport Sciences, s.49.

## 3. Materiale og metoder

### 3.1 Forsøkspersoner

Tjuefem aktive kvinner innen utholdenhetsidrett på mosjonsnivå, som ikke hadde bedrevet systematisk styrketrening siste seks måneder, ble rekruttert til forskningsprosjektet. Masteroppgaven har vært del av et større prosjekt, og derfor skulle damene som ble rekruttere være på så høyt nivå som mulig i sykling og løping.

Rekrutteringen ble gjort med plakater på treningssentre, annonser i tidsskrift relatert til Birkebeinerarrangementene, samt Dagens Næringsliv. Utvalget hadde disse

karakteristika ved studiestart:  $32.9 \pm 7.8$  år ( $\pm$  SD),  $63.7 \pm 6.7$  kg,  $169.5 \pm 4.5$  cm.

Prosjektet var godkjent av Regionale Etske Komité sør-øst. Alle FP fikk tilsendt en prosjektbeskrivelse som de returnerte med skriftlig samtykke. FP kunne når som helst trekke seg fra studien uten å oppgi grunn. Alle FP ble matchet etter pre-verdier for  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  og trukket parvis i enten en gruppe som skulle trene samtidig styrke og utholdenhet (*U & S*), eller kun utholdenhet (*U*) i en periode på 11 uker. Av ulike årsaker måtte noen FP trekke seg fra deltakelse i studien. Til slutt endte vi opp med data fra 11 FP i *U & S* og 8 FP i *U* ( $n=8$  i begge grupper for analyser av muskelbiopsier).

### 3.2 Intervensjon

Intervensjonsperioden varte fra begynnelsen av mai til slutten av juli. Begge grupper ble bedt om å trene minst 2 løpeøkter og minst 2 sykkeløkter per uke. *U & S* trente i gjennomsnitt 2 styrkeøkter i uken i tillegg til utholdenhetstreningen.

#### 3.2.1 Styrketrening (*U & S*)

**Styrkeøvelser:** Styrkeøvelsene som ble brukt på *U & S* bestod av flere øvelser på beina. Øvelsene var: knebøy i smith- maskin, ett beins beinpress på beinpressapparat, et bens hoftefleksjon i kabelapparat (Gym 80 Sygnum, Tyskland) og tåhev i smith- maskin.

Treningsprogrammet var bygget opp med progresjon slik at det ble færre RM underveis i treningsperioden (tabell 2.1). Det ble alltid løftet 3 sett på hver øvelse. På øvelsene som ble utført med ett bein av gangen ble det løftet 3 sett på hvert bein.



Tabell 3.1. Oppbygning av belastning i styrketreningen for gruppen som trente utholdenhet og styrke 11 uker (U & S).

| Uke  | Økt 1 | Økt 2 |
|------|-------|-------|
| 1-4  | 10 RM | 6 RM  |
| 5-8  | 8 RM  | 5 RM  |
| 9-11 | 6 RM  | 4 RM  |

Forsøkspersonene skrev treningsdagbok under hele perioden. Treningsdata i gjennomsnittlig antall treningstimer per uke i intervensjonsperioden er vist i tabell 2.2. Gruppe U fikk ikke trene styrke på beina. I forkant av hver styrketreningsokt fikk FP i U & S utdelt en proteinsjokolade som måtte spises (Squeezy recovery bar vanilla 50 g, 839 kJ, protein: 15 g, karbohydrat: 22 g, fett: 5.5 g).

Tabell 3.2. Treningsdata i gjennomsnittlig antall treningstimer og minutter per uke i intervensjonsperioden  $\pm$  standardavvik. Gruppen som trente både utholdenhet og styrke (U & S) og gruppen som trente kun utholdenhet på beina (U). Totalt U = total mengde utholdenhetstrening. Totalt S = total mengde styrketrening. Totalt U & S = total treningsmengde med både utholdenhet og styrketrening. \*Forskjellig fra gruppe U ( $P < 0.00005$ )

|       | Rolig           | Moderat         | Hardt           | Totalt U        | Totalt S            | Totalt U&S      |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| U & S | 3:57 $\pm$ 1:38 | 1:24 $\pm$ 1:18 | 0:32 $\pm$ 0:32 | 5:53 $\pm$ 2:20 | 2:11 $\pm$ 0:31**** | 8:05 $\pm$ 2:25 |
| U     | 4:33 $\pm$ 2:22 | 0:47 $\pm$ 0:20 | 0:31 $\pm$ 0:20 | 5:52 $\pm$ 2:25 | 0:20 $\pm$ 0:30     | 6:13 $\pm$ 2:36 |

### 3.3 Tester

Tabell 1 viser hvilke tester som har blitt brukt i oppgaven, og når de ble gjennomført i prosjektets tidsplan.

Tabell 3.3. Tabellen viser type test og når den ble gjennomført i løpet av prosjektet.

|  |          |                         |        |
|--|----------|-------------------------|--------|
| <b>1RM benpress</b>                      | ↓        | ↓                       |        |
| <b>Laktatprofil (arb. øk)</b>            | ↓        | ↓                       |        |
| <b>40 min all out sykling</b>            | ↓        | ↓                       |        |
| <b>Muskelbiopsier m.vastus lateralis</b> | ↓        | ↓                       |        |
| <b>DXA lean body mass</b>                | ↓        | ↓                       |        |
|  | Tester   | Intervensjon            | Tester |
|  | ←-----→  |                         |        |
| Uker                                     | -3 -2 -1 | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 | 12+    |

### 3.4 1RM beinpress

FP syklet først rolig 10 minutter på spinningssykkel. Deretter ble det gjennomført en spesifikk standardisert oppvarming der det ble utført tre sett med gradvis økende belastning. Belastningen var 40-75-85% av forventet 1 RM, og antall repetisjoner ble redusert for hver serie (10-6-3 repetisjoner). Første tunge løft ble utført med ca. 5% lettere belastning enn forventet 1 RM. Deretter ble belastningen økt med 2-5% inntil vi fant den belastningen FP klarte å løfte én gang. Mellom hvert forsøk fikk FP en pause på 3-4 minutter. Det ble merket opp med tape hvor på beinpressplaten foten skulle plasseres, og det var et krav at vinkel i kneleddet skulle være 90° for at løftet skulle bli godkjent.

### 3.5 Muskelbiopsier

#### 3.5.1 Biopsitaking

Muskelbiopsier ble tatt fra m. vastus lateralis (m.VL) hos alle FP før treningsperioden startet og etter treningsperioden etter følgende protokoll:

- Huden over muskelen vaskes med en desinfiserende oppløsning

(klorhexidin)

- Huden og bindevevet lokalbedøves (Xylocain m/adrenalin) der vevsprøven tas. FP kjenner er lite stikk i huden og en spregningsfølelse i underhuden.
- Et snitt på ca. 1,5 cm gjøres gjennom hud og muskelfascien. Dette gjøres uten at forsøkspersonen kjenner noe som helst.
- En steril biopsinål med diameter på 6 mm føres inn og 2 små biter av muskulaturen på ca. 50 mg tas ut. Prosedyren utføres to ganger.
- Snittet lukkes med tape.

Professor Truls Raastad, Norges idrettshøgskole (NIH) var ansvarlig for biopsitakingene. Medisinsk ansvarlig under studien var Dr. Med. Tor Strand, Sykehuset Innlandet, Divisjon Medisinsk Service.

### **3.5.2 Immunohistokjemi**

Immunohistokjemi ble utført av Erika Zacharoff ved patologisk avdeling, Sykehuset Innlandet, avdeling Lillehammer. Hennes protokoll er beskrevet under (detaljert beskrevet i vedlegg 1 og 2).

Det ble brukt immunohistokjemi for å merke de forskjellige fibertypene slik at de kunne telles. Formalinfiksert biopsimateriale ble plassert i en forberedelsesmaskin (Exelsior ES, Thermo Scientific, Rockford, IL, USA) (vedlegg 1). Biopsiene ble støpt i parafin (Histowax embedding medium, Histolab, Göteborg, Sverige) med en innstøpningsmaskin (Leica EG1160, Nussloch, Tyskland). De parafinstøpte biopsiene ble så lagret i romtemperatur frem til de ble skåret i snitt.

En mikrotom (HM450, Thermo Scientific, Waldorf, Tyskland) ble brukt for å lage 4 µm tykke snitt. Parafinsnittene ble så montert på objektglass (K8020, Dako, Glostrup, Danmark) fra et vannbad på 45 °C. For å unngå at snittene skulle ramle av objektglassene ble de inkubert i 60 °C i en time før de ble lagret i romtemperatur.

Vevet ble forbehandlet ved deparafinering gjennom varmebehandling i PT link (Dako, Glostrup, Danmark) med EnVision™ target retrieval solution (ETRS); lav pH (K8005, Dako, Glostrup, Danmark) og høy pH (K8004, Dako, Glostrup, Danmark) og proteolytisk forbehandling med Proteinase K (S3020, Dako, Glostrup, Danmark) Dette

ble gjort for å sikre at antigenene var tilgjengelige for antistoffene de skulle merkes med under innfargingen (vedlegg 2).

Innfarging av de ulike isoformene av myosin heavy chain (MyHC) ble utført med hjelp av monoklonale antistoffer (Se tabell). Det ble gjennomført tre infarginger, en for hver fibertype. Som visualiseringskit ble EnVision™ FLEX Visualization Systems (Dako, Glostrup, Danmark) anvendt. All innfarging ble foretatt i Dako Autostainer Plus (Dako, Glostrup, Danmark)(vedlegg 2).

*Tabell 3.4. Antistoffer anvendt ved immunohistokjemi analysene.*

| MyHC | Antistoff                            | Konsentrasjon | ETRS |
|------|--------------------------------------|---------------|------|
| 1    | A4.840 (H. Blau, Stanford, USA)      | 1:50          | Høy  |
| 2A   | EPR5280 (Nordicbiosite, Oslo, Norge) | 1:50          | Lav  |
| 2X   | 6H1 (C.Lucas, Sydney, Australia)     | 1:10          | Lav  |

### **3.5.3 Analysering av muskelbiopsier**

Det ble tatt opp til 7 bilder i forstørrelse 10X av hvert snitt for å dekke hele snittet. Bildene ble tatt med et Olympus DP70 kamera (Olympus, USA) koblet til et mikroskop. Fibertypesammensetning ble beregnet med å merke hver fiber med Photoshop CS6 extended (Adobe, San Jose CA, USA) og telle de inn under den fibertypen de ble merket for. Dersom samme fiber hadde blitt merket med to forskjellige antistoff (hybrid) ble det dobbeltsjekket at riktig fiber var talt. Det ble brukt 200 fibere fra hver biopsi for å beregne fibertypesammensetningen. Dette er et antall som har vist seg å være tilstrekkelig for å få et presist estimat (Blomstrand & Ekblom, 1982).

### **3.6 Arbeidsøkonomi ved submaksimale belastninger**

#### **(laktatprofil) $\dot{V}O_{2maks}$ og $W_{maks}$**

Testen ble gjort på en elektromagnetisk bremsset ergometersykkel (Lode Excalibur Sport, Lode B. V., Groningen, Nederland), og bestod av 5 minutters arbeidsperioder med høyere belastning for hver arbeidsperiode. FP brukte selvvalgt tråkkfrekvens. Det ble tatt blod fra finger for analyse av  $[La^-]$  (Lactate Pro LT-1710, Arcray Inc., Kyoto, Japan) før FP begynte direkte på neste arbeidsperiode. Intensiteten økte 50 W for hver belastning og startet på 75 W. Under hver arbeidsbelastning ble det registrert R-verdi,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , effekt og tråkkfrekvens i løpet av de siste 2 minuttene og gjennomsnittsverdiene ble regnet ut. R-verdi,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , ble registrert med et miksekammer koblet til en datamaskin (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Tyskland). HF ble registrert hvert 15 sekund siste minutt med pulsbelte og klokke (Polar, Kempele, Finland) og gjennomsnittet ble brukt som HF på den gitte belastningen. Rett etter hver arbeidsperiode ble det tatt en prøve kapillærblod fra fingertuppen for registrering av  $[La^-]$ , og FP oppga subjektiv opplevd grad av anstrengelse på Borgs rate of perceived exertion (Borgs RPE) (Borg, 1982). LT ble beregnet ut fra  $[La^-]$  etter første fem minutters arbeidsperiode + 2.3 mMol/L og testen ble avsluttet etter første belastning over 4mMol/L. Etter 10 min nedvarming ble det gjennomført testing av  $\dot{V}O_{2maks}$ . FP startet på en belastning tilsvarende  $3 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$  (rundet av nedover til nærmeste 50 W). Arbeidsbelastningen ble deretter økt med 25 W hvert minutt til frem til utmattelse. Under hele  $\dot{V}O_{2maks}$  testen ble det registrert HF, R-verdi,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ .  $\dot{V}O_{2maks}$  ble definert som den høyeste gjennomsnittsverdien over 1 minutt (gjennomsnittsverdien av de 2 etterfølgende målingene som ga høyest resultat). Så raskt som mulig etter utmattelse ble det tatt en prøve kapillærblod fra fingertuppen for analysering av  $[La^-]$ .  $W_{maks}$  ble definert som gjennomsnittlig effekt på de to siste minuttene av  $\dot{V}O_{2maks}$  testen.

### **3.7 40 minutter all-out sykling**

Time trial tester har bedre reproducerbarhet ( $CV \approx 3\%$ ) enn tid til utmattelsestester ( $CV \approx 26\%$ ) (Currell & Jeukendrup, 2008). Forsøkspersonene ble instruert til å arbeide med høyest mulig effekt under hele den 40 minutter lange testen, og justerte selv effekten ved hjelp av en styreenhet. Prestasjonen ble registrert som gjennomsnittlig effekt i løpet av testen. HF og tråkkfrekvens ble registrert hvert 5. minutt, laktatverdier og RPE ble

målt umiddelbart etter testen. R-verdi,  $\dot{V}O_2$  og  $\dot{V}CO_2$  ble registrert mellom 3,5-5 min, 8,5-10 min, 13-15 min, 18-20 min, 23-25 min, 28-30 min, 33-35 min og 38-40 min, men det var bare data fra siste minuttet som ble brukt for å være sikker på at «gammel» luft var blåst ut av miksekammeret på måleapparatet i måleperioden. I periodene uten munnstykke i munnen hadde deltakerne muligheter for å drikke. I det siste minuttet før hver måleperiode og minuttet hver måleperiode varte kunne ikke deltakerne justere motstanden. Fordi FP i liten grad justerte effekten mellom hver måleperiode kunne vi gjøre et estimat for hver 5-minuttersperiode ut fra det minuttet vi hentet data for  $\dot{V}O_2$ . Posisjonen på setet og styret ble tilpasset individuelt og var det samme ved pre- og posttest.

### **3.8 Statistikk**

Alle verdier i teksten, figurer og tabeller er gjennomsnittsverdier  $\pm$  standardavvik. For å undersøke om det var forskjell i pre-verdier mellom gruppene ble uparet Students t-test brukt. For å undersøke om det var forskjell mellom pre- og post-verdier for samme gruppe ble parett Students t-test brukt. For å se om det var forskjellig grad av endring mellom gruppene ble uparet Students t-test brukt. Alle statistiske tester ble utført i Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Alle analyser som resulterte i  $P < 0.05$  ble regnet som statistisk signifikant. P-verdier mellom 0.06-0.1 ble regnet som tendenser. Korrelasjonskoeffisienter under 0.1 blir omtalt som ubetydelige, 0.1-0.3 blir omtalt som liten, 0.3-0.5 som moderat, 0.5-0.7 som stor, 0.7-0.9 som veldig stor og 0.9-1.0 som ekstremt stor (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009).

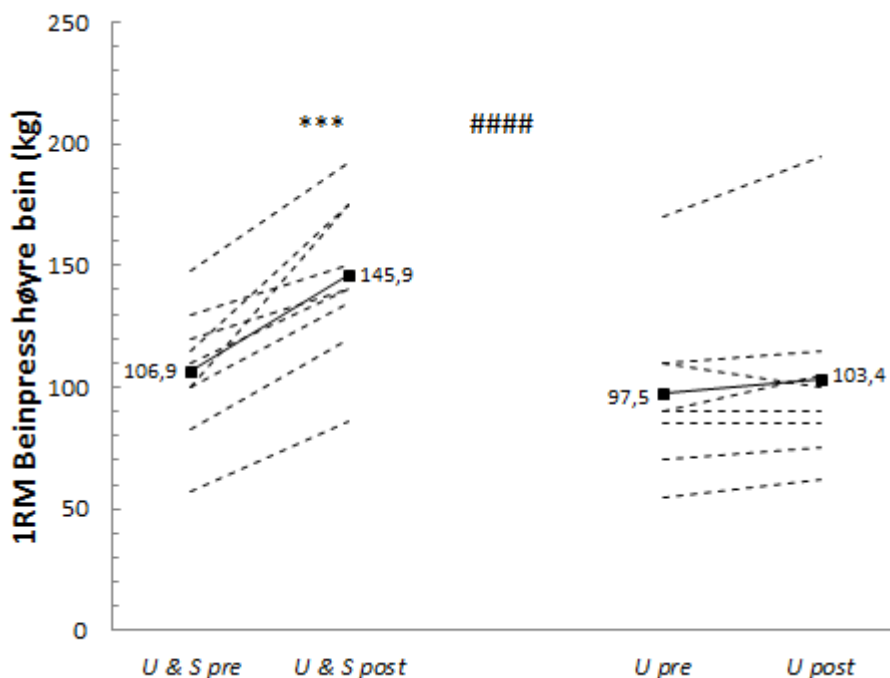
## 4. Resultater

### 4.1 Baselineverdier

Det var ingen signifikante forskjeller mellom gruppene på noen av de undersøkte variablene ved pre-testing. Det var en tendens til at *U* hadde høyere  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i absolutte verdier ( $P = 0.08$ ). Det var også en tendens til at *U* svarte lavere på Borgs RPE skala pre.

### 4.2 1RM beinpress

1RM beinpress økte med  $39 \pm 19\%$  som følge av *U* & *S*, mens *U* fikk ingen endring (figur 3.1).

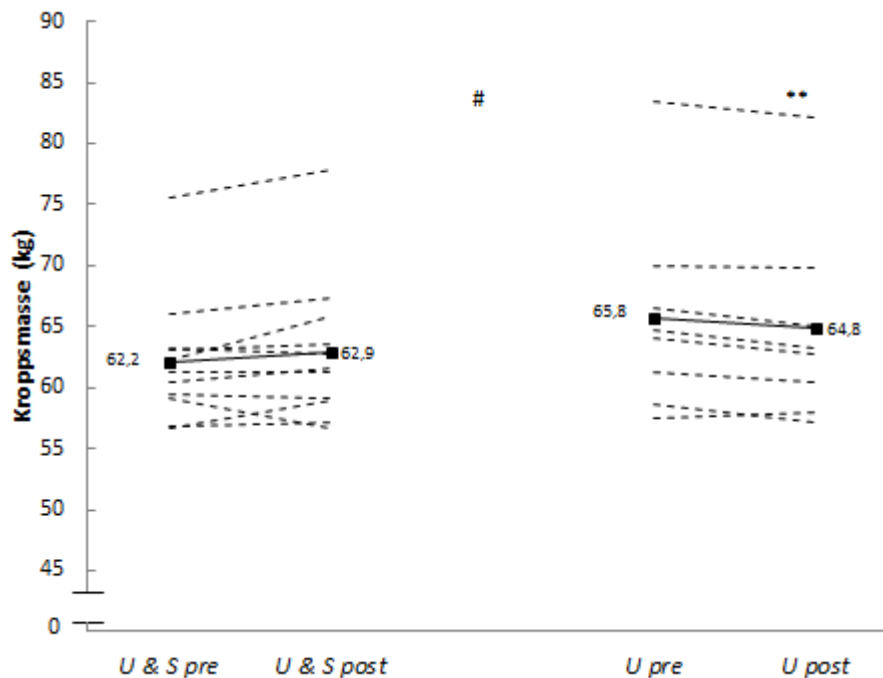


Figur 4.1. 1RM beinpress pre og post 11 uker med utholdenhet og styrketrening (*U* & *S*) eller kun utholdenhetstrening (*U*). Stiplede linjer er individuelle datapunkter. Heltrukne linjer med firkanter er gjennomsnittsverdier. \*\*\*Forskjell mellom pre og post ( $P < 0.0005$ ). #### Forskjell i endring mellom grupper ( $P < 0.0005$ ).

### 4.3 Kroppssammensetning

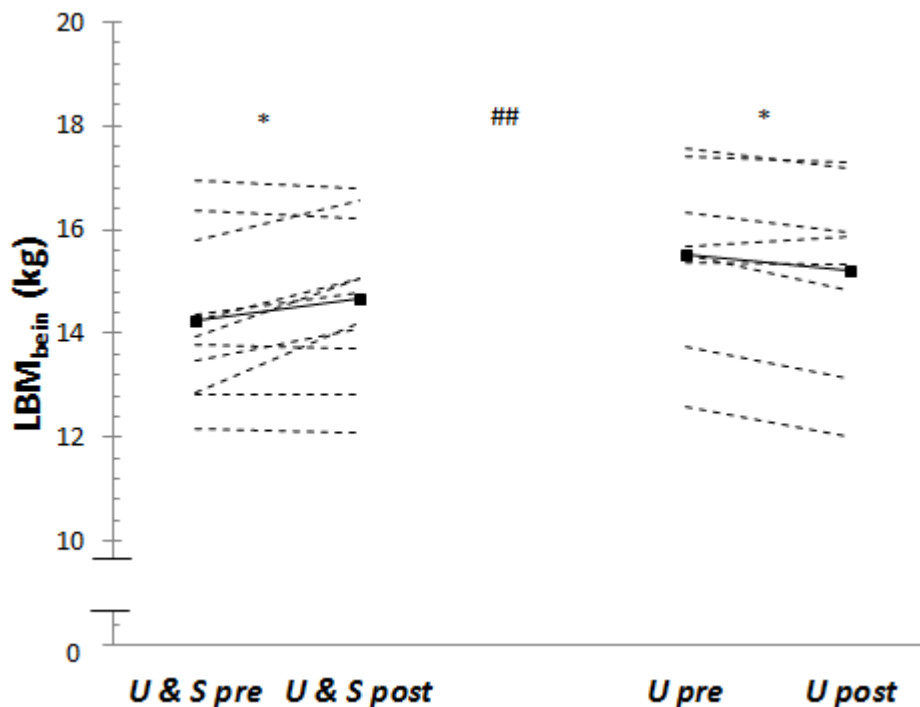
Kroppsmassen forble uendret hos *U* & *S*, mens *U* fikk en vektreduksjon på  $-1 \pm 3\%$  ( $P < 0.01$ ) som var en signifikant endring i forhold til *U* & *S* (figur 3.2). Lean body mass (LBM), en variabel som indikerer forandringer i muskelmasse økte med  $2 \pm 2\%$  hos *U* & *S* ( $P < 0.05$ ). Dette var signifikant forskjellig fra *U* som fikk en nedgang i LBM på  $1 \pm$

1% ( $P < 0.05$ ). LBM i beina ( $LBM_{\text{bein}}$ ) isolert økte med  $3 \pm 4\%$  ( $P < 0.05$ ) hos *U & S*. Dette var signifikant forskjellig fra *U* hvor det ble observert en reduksjon på  $-2 \pm 2\%$  ( $P < 0.05$ ) (figur 3.3).



Figur 4.2. Kroppsvekt for gruppen som trente utholdenhet og styrke (*U & S*) 11 uker, og gruppen som kun trente utholdenhet 11 uker (*U*) pre og post. Individuelle datapunkter markert med stiplet linje. Gjennomsnittsverdier heltrukken linje med firkanter. \*\*Forskjell mellom pre og post ( $P < 0.01$ ). #Forskjell i endring mellom grupper ( $P < 0.05$ ).

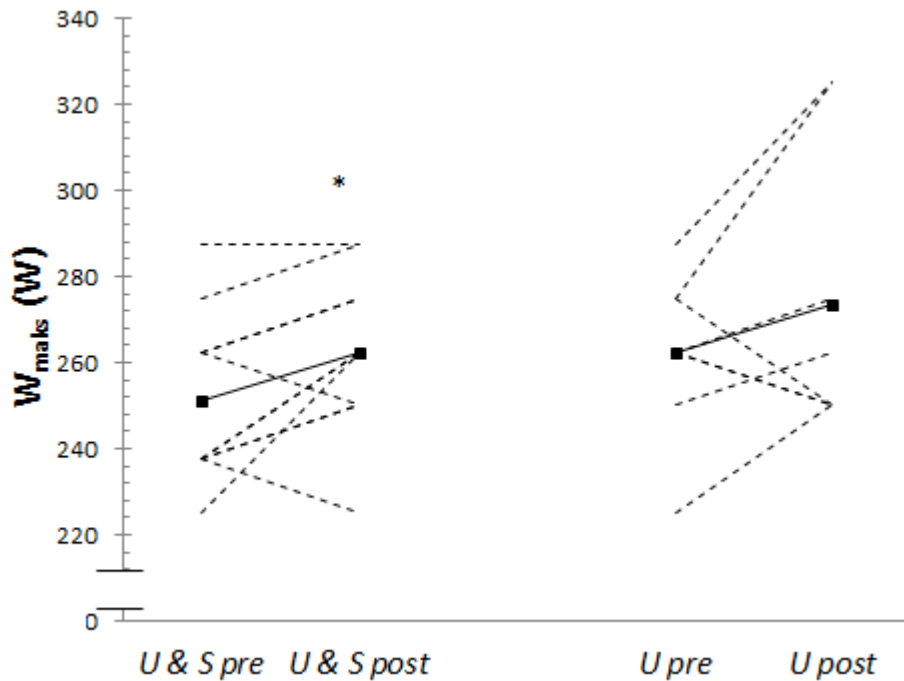




Figur 4.3. Begge grupper endring i lean body mass i beina ( $LBM_{bein}$ ) pre og post 11 uker med enten utholdenhet + styrketrening (U & S) eller kun utholdenhetstrening (U). Individuelle datapunkter markert med stiplet linje. Gjennomsnittsverdier markert med heltrukket linje med firkanter. \*Forskjell pre post ( $P < 0.05$ ). ## Forskjell mellom grupper ( $P < 0.01$ ).

#### 4.4 $\dot{V}O_{2maks}/W_{maks}$

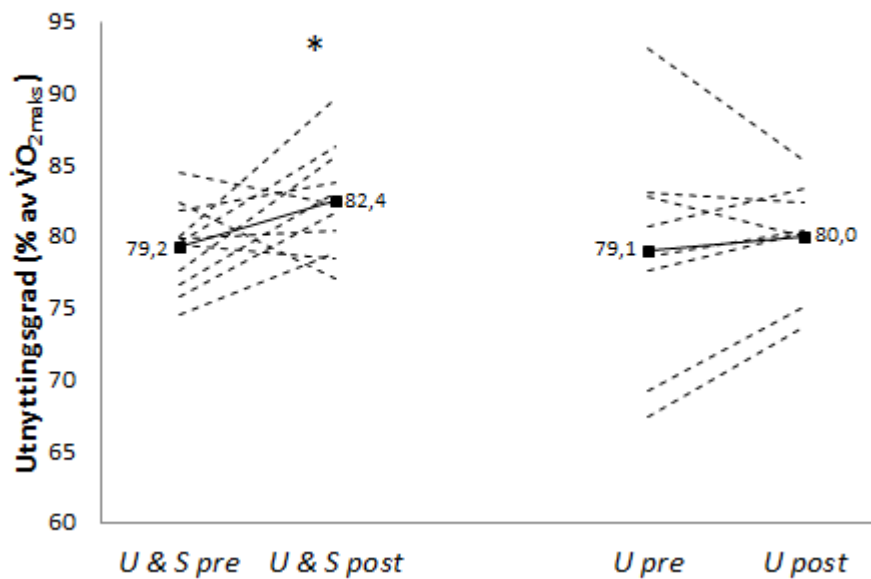
U & S fikk ingen endring i absolutt ( $3.32 \pm 0.23$  vs.  $3.29 \pm 0.23$  L  $O_2$ /min). U fikk 5% reduksjon ( $3.65 \pm 0.51$  vs.  $3.46 \pm 0.40$  L  $O_2$ /min,  $P < 0.05$ ). Uttrykt i forhold til kroppsmasse skjedde det ingen endring i noen av gruppene (U & S:  $54 \pm 4$  vs.  $53 \pm 4$  mL  $O_2$ /min/kg, U:  $55 \pm 3$  vs.  $54 \pm 2$  mL  $O_2$ /min/kg). U & S økte  $W_{maks}$  med 4,8%. U fikk ingen endring (figur 3.4). Uttrykt i forhold til kroppsmasse skjedde det en tendens til økning i  $W_{maks}$  hos U & S, mens hos U skjedde det like stor økning som ikke var signifikant eller tendens ((U & S:  $4.0 \pm 0.3$  vs.  $4.2 \pm 0.3$  W/kg,  $P < 0.09$ ). U:  $4.0 \pm 0.4$  vs.  $4.2 \pm 0.2$ )).



Figur 4.4.  $W_{maks}$  for gruppen som trente utholdenhet og styrke (U & S) og gruppen som trente kun utholdenhet 11 uker pre og post. Individuelle datapunkter markert med stiplede linjer. Gjennomsnittsverdier markert med heltrukken linje med firkanter. \*Forskjellig fra pre ( $P < 0.05$ ).

#### 4.5 Utnyttingsgrad

Estimert utnyttelsesgrad fra  $\dot{V}O_2$ -målinger gjort hvert 5. minutt under 40 minutter all-out prestasjonstest viste at U & S fikk en økning i utnyttelsesgrad på  $3 \pm 5\%$ -poeng etter 11 uker samtidig styrke- og utholdenhetstrening ( $79.2 \pm 3.0$  vs.  $82.4 \pm 3.8\% \dot{V}O_{2maks}$ ,  $P < 0.05$ ) (figur 3.5). U fikk ingen endring etter kun å ha fortsatt med utholdenhetstrening ( $79.1 \pm 8.2$  vs.  $80.0 \pm 4.0\% \dot{V}O_{2maks}$ , NS).



Figur 4.5. Utnyttingsgrad i prosent av  $\dot{V}O_{2maks}$  for gruppen som trente utholdenhet og styrketrening i 11 uker (U & S) og gruppen som trente kun utholdenhet 11 uker (U). Stiplet linje viser datapunkter for individuelle FP. Heltrukken linje viser gjennomsnitt i hver gruppe. \*Forskjellig fra pre ( $P < 0.05$ ).

### (1) Effekt ved $[La^-]$ 3.5 mMol/L

U & S fikk signifikant høyere estimert effekt i absolutte verdier ved  $[La^-]$  3,5mMol/L etter 11 uker utholdenhets og styrketrening ( $157.4 \pm 26$  vs.  $169.6 \pm 26.1$  W,  $P < 0.05$ ). Relativt til kroppsvekt viste U & S en tendens til høyere effekt etter intervensjonen ( $2.5 \pm 0.3$  vs.  $2.7 \pm 0.4$  W,  $P = 0.057$ ). U fikk ingen endring i hverken absolutte ( $173.5 \pm 17.8$  vs.  $178.3 \pm 24.6$  W/kg, NS) eller relative verdier ( $2.7 \pm 0.2$  vs.  $2.8 \pm 0.2$  W/kg).

### (2) $\dot{V}O_2$ ved $[La^-]$ 3.5 mMol/L

Beregnet  $\dot{V}O_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min$ ) forble uendret mellom pre og post for begge grupper ved effekt som ga  $[La^-]$  3,5mMol/L (U & S:  $39.2 \pm 3.1$  vs.  $40,1 \pm 4.4$   $\dot{V}O_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min$ ), NS. U:  $40.3 \pm 1.6$  vs.  $41.1 \pm 3.3$   $\dot{V}O_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min$ ), NS). Uttrykt som % $\dot{V}O_{2maks}$  ble det 3%-poeng økning hos begge grupper (U & S:  $73.5 \pm 4.4$  vs.  $76.5 \pm 5.3\%$   $\dot{V}O_{2maks}$  ved  $[La^-]$  3,5mMol/L,  $P < 0.05$ . U:  $74.0 \pm 5.7$  vs.  $77.0 \pm 6.7\%$   $\dot{V}O_{2maks}$  ved  $[La^-]$  3,5mMol/L,  $P < 0.05$ ).

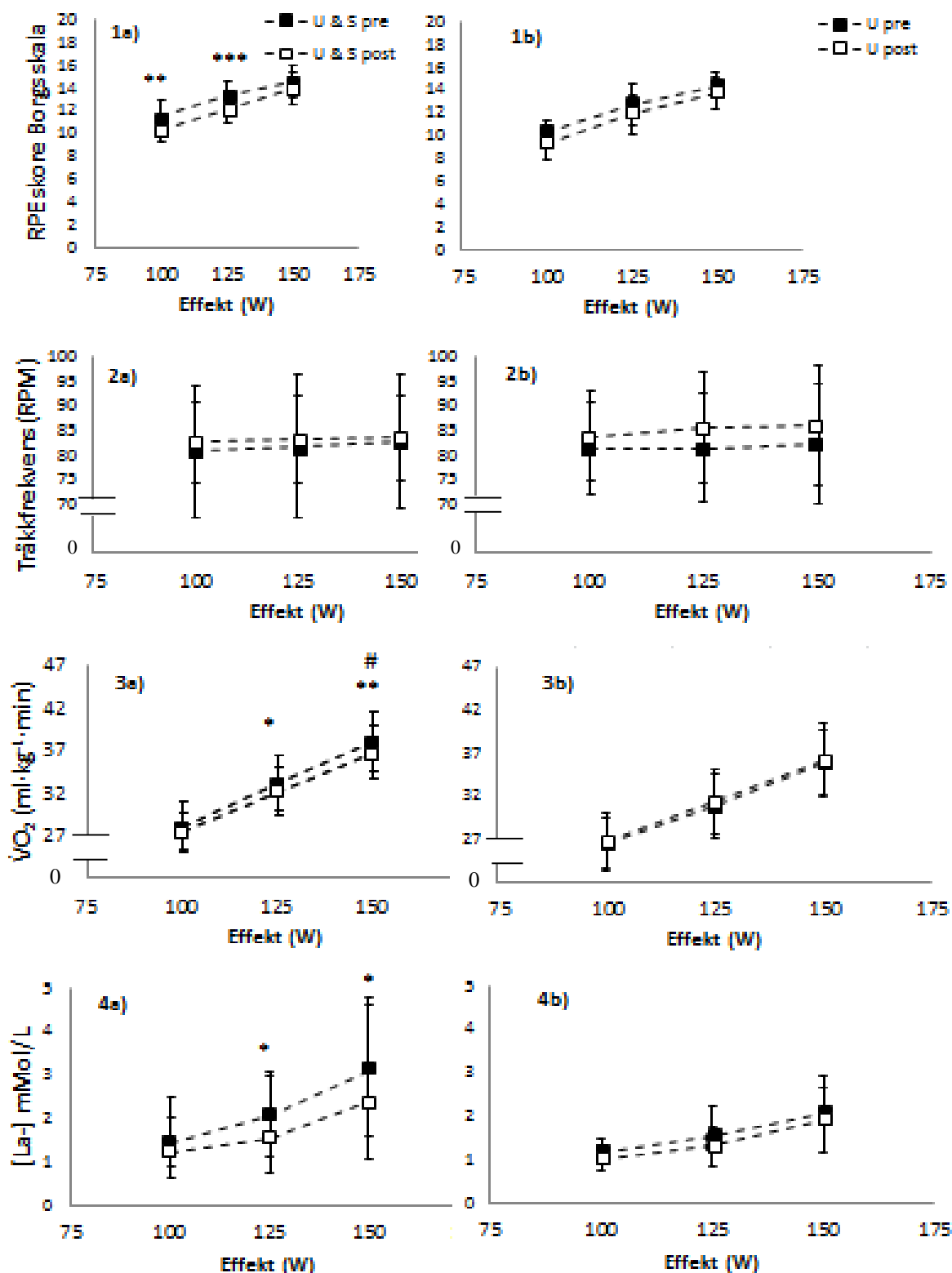
#### 4.5.2 Trinnvis test (laktatprofil og arbeidsøkonomi)

**Effekt-laktatkurven** fikk en høyreforskyvning i *U* & *S* men ikke *U* (figur 3.6). På de to letteste arbeidsbelastningene (50 W og 100 W) var det ingen endringer. Forskjell i endring mellom grupper var ikke signifikant.

**Relativ  $\dot{V}O_2$**  ble lavere på 125W ( $-3 \pm 4\%$ -poeng) og 150W ( $-4 \pm 3\%$ -poeng) som følge av *U* & *S*, ingen endring skjedde hos *U* (figur 3.6). Absolutt  $\dot{V}O_2$  på forskjellige submaksimale belastninger forble uendret.

**Tråkkfrekvensen** hadde en tendens til å øke hos *U* mellom pre og post på 150 W ( $P = 0.07$ ), mens den forble uendret hos *U* & *S*. Det var ikke signifikant forskjell mellom gruppene på 150 W ( $P = 0.59$ ) (Figur 3.6)

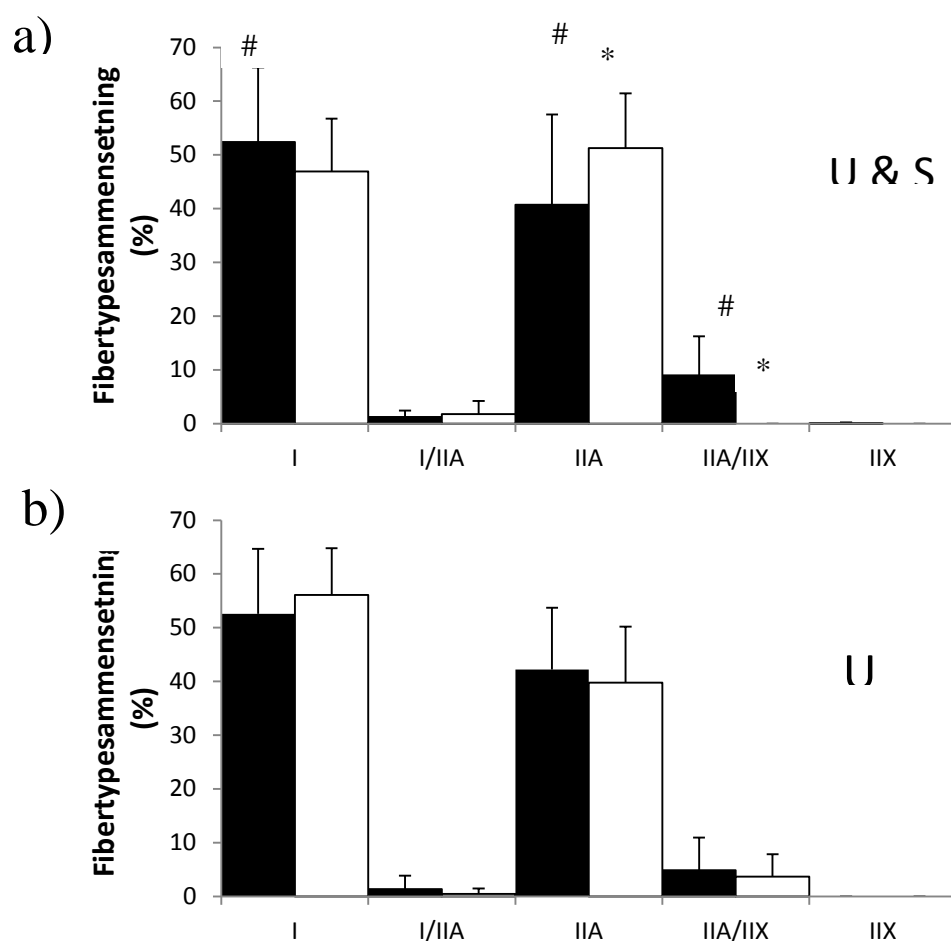
**Borgs RPE.** *U* & *S* rapporterte lavere score på Borgs skala ved 100 ( $P < 0.01$ ) og 125 W ( $P < 0.005$ ) under laktatprofiltest etter 11 uker med utholdenhet og styrketrening (figur 3.6). Det var en tendens til lavere RPE score på 150 W ( $P = 0.08$ ). Hos *U* skjedde det ingen endring.



Figur 4.6. Endring i forskjellige parametere på laktatprofiltest hos gruppen som trente utholdenhet og styrke i 11 uker (U & S) til venstre og for gruppen som trente kun utholdenhet (U) til høyre. **Panel 2a):** Tråkkfrekvens i rotasjoner per minutt pre og post hos U & S. **Panel 2b):** Tråkkfrekvens pre og post hos U. **Panel 3a):**  $\dot{V}O_2$  verdier hos U & S pre og post oppgitt i mL O<sub>2</sub>/min/kg. **Panel 3b):**  $\dot{V}O_2$  verdier hos U pre og post oppgitt i mL O<sub>2</sub>/min/kg. **Panel 4a):** Laktatverdier for U & S pre og post. **Panel 4b):** Laktatverdier for U pre og post. Alle FP gjennomførte en belastning som var tilstrekkelig til at [La<sup>-</sup>] 3.5mMol/L ble oversteget. \*Forskjellig fra pre (P <0.05). \*\*Forskjellig fra Pre (P <0.01). #Forskjellig i endring mellom grupper (P <0.05).

## 4.6 Fibertypesammensetning

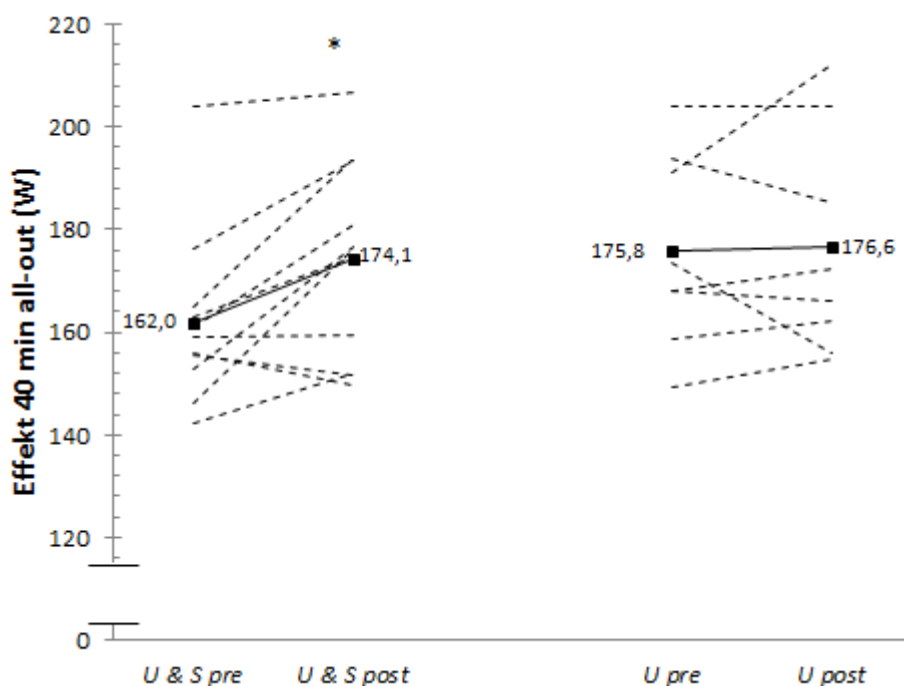
Det ble funnet at hybridfibere IIA/IIX som ved pre-test stod for  $9 \pm 7\%$  av fibertypesammensetningen hos *U & S* etter 12 uker tung styrketrening i sin helhet hadde gått over til rene type IIA fibre (figur 3.7). Fibertype IIA gikk fra å stå for 41% av muskelfibrene pre til 51% post i *U & S* gruppen. Hos *U* skjedde det ingen endring i andel hybridfibere IIA/IIX ( $5 \pm 6$  vs.  $4 \pm 4\%$ ). Det ble registret en tendens til mindre prosentandel type I fibre hos *U & S* etter intervensjonen. (*U & S*:  $52 \pm 16$  vs.  $47 \pm 10$ ,  $P = 0.07$ ). Forskjellen mellom pre og post mellom gruppene ble signifikant på grunn av litt større andel type I muskelfibre post i forhold til pre hos *U* ( $53 \pm 12$  vs.  $56 \pm 9\%$ , NS).



Figur 4.7. **Panel a):** Pre-verdier (svart fyll) og post-verdier (uten fyll) for fibertypesammensetning i m.VL hos gruppen som trente både utholdenhet og styrketrening (*U & S*) 11 uker. **Panel b):** Pre-verdier og post-verdier for fibertypesammensetning i m.VL hos gruppen som trente kun utholdenhet 11 uker (*U*). \*Forskjellig fra pre ( $P < 0.05$ ). #Forskjell i endring mellom grupper ( $P < 0.05$ ).

## 4.7 40 min all-out utholdenhetsprestasjon

*U* & *S* økte sin gjennomsnittlige effekt på 40 min all-out med  $8\% \pm 8\%$ . *U* fikk ingen endring (figur 3.8). Det var en tendens til forskjell mellom gruppene ( $P = 0,06$ ). Relativt til kroppsvekt økte *U* & *S* med  $0,16 \pm 0,20$  W/kg som var en økning på 6% ( $2,61 \pm 0,23$  vs.  $2,77 \pm 0,26$  W/kg,  $P < 0,05$ ). *U* hadde ingen endring ( $2,68 \pm 0,22$  vs.  $2,73 \pm 0,16$  W/kg, NS).



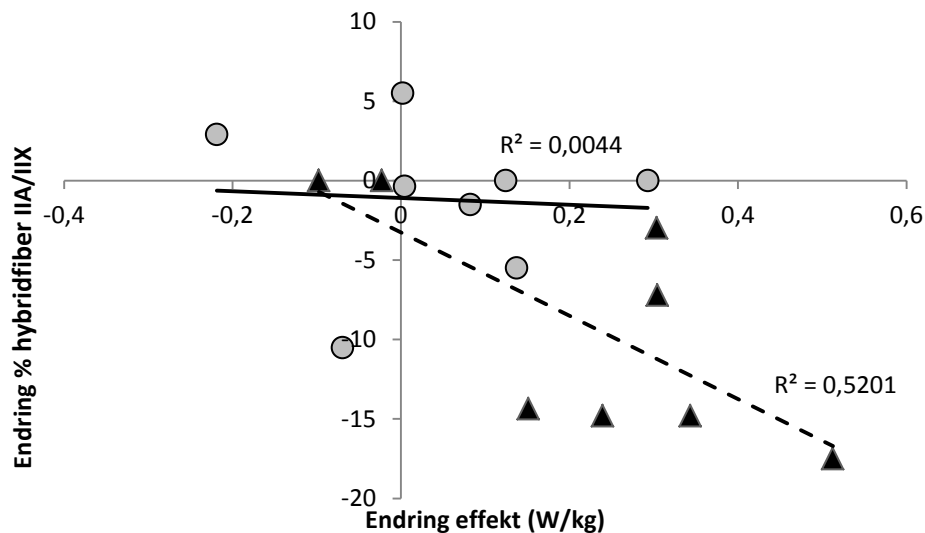
Figur 4.88. Gjennomsnittseffekt under 40 minutter all-out prestasjonstest for begge grupper pre og post 11 uker med utholdenhet og styrketrening (*U* & *S*) eller kun utholdenhetstrening (*U*). Individuelle datapunkter markert med stiplede linjer. Gjennomsnittsverdier markert med heltrukne linje med firkanter. \*Forskjell mellom pre og post ( $P < 0,05$ ).

## 4.8 Korrelasjoner

Korrelasjonsberegninger har blitt gjort for alle FP samlet på tvers av grupper.

**Endring 1RM beinpress og prestasjon.** Det ble funnet en liten korrelasjon mellom endring i 1RM og prestasjon i både absolutte og relative verdier ( $r = 0,26$ , NS og  $r = 0,20$ , NS). Når man så på korrelasjonen for disse variablene hos kun *U* & *S* ble korrelasjonen moderat negativ i absolutte verdier ( $r = -0,32$ , NS) og en liten korrelasjon i relative verdier ( $r = 0,23$ , NS).

**Endring i prosentandel fibertype hybrid IIA/IIX og endring prestasjon 40 min all-out.** Endring i prosentandel fibertype hybrid IIA/IIX viste stor negativ korrelasjon med endring i prestasjon på 40 min all-out både i relative ( $r = -0.62$  ( $P < 0.05$ )) og absolutte verdier ( $r = -0.55$  ( $P < 0.05$ )) (figur 3.9).



Figur 4.9. Korrelasjon for alle FP mellom endring i prosentandel hybridfibre (IIX/IIA) og prestasjon målt i relativ gjennomsnittseffekt (W/kg) på 40 minutter all-out sykkeltest. Trekanter er FP i gruppen som trente både utholdenhet og styrke 11 uker (U & S). Rundinger er FP i gruppen som trente kun utholdenhet i 11 uker (U). Stiplet trendlinje viser samvariasjon mellom de to variablene for U & S. Heltrukket trendlinje viser samvariasjon mellom de to variablene for U.

**Endring  $\dot{V}O_2$  ved 125 W og endring prestasjon.** Endring i  $\dot{V}O_2$  på 125 W korrelerte moderat med endring i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out i både relative ( $r = -0.43$ , NS) og absolutte verdier ( $r = 0.42$ , NS).

**Endring  $W_{maks}$  og endring prestasjon.** Endring i  $W_{maks}$  viste god korrelasjon med endring i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out både i absolutte og relative verdier ( $r = 0.53$ ,  $P < 0.05$  og  $r = 0.60$ ,  $P < 0.05$ ) (figur 3.10).



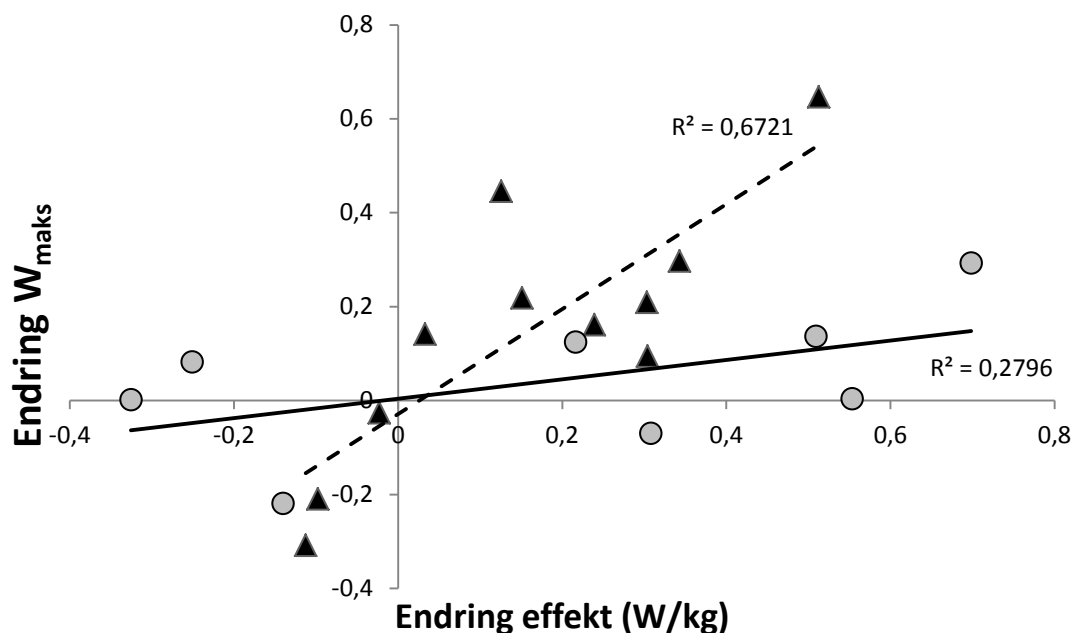


Figure 4.9. Korrelasjon mellom endring i  $W_{maks}$  og endring i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out i relative verdier. Trekanter er FP i gruppen som trente både utholdenhet og styrke i 11 uker (U & S). Rundinger er FP i gruppen som trente kun utholdenhet i 11 uker (U). Stiplet trendlinje markerer samvariasjon for de to variablene for U & S. Heltrukken trendlinje viser samvariasjon for de to variablene for U.

**Endring utnyttingsgrad og endring prestasjon.** Korrelasjonen mellom endring i utnyttingsgrad og endring i prestasjon på 40 min all-out var moderat både i absolutte og relative verdier ( $r = 0.43$ , NS og  $r = 0.35$ , NS)

**Endring  $LBM_{bein}$  og endring prestasjon.** Det var moderat korrelasjon mellom endring i  $LBM_{bein}$  og endring i prestasjon i absolutte verdier ( $r = 0.43$ , NS). I relative verdier var korrelasjonen liten ( $r = 0.29$ , NS).

**Endring effekt på  $[La^-]$  3.5 mMol/L.** Det var stor korrelasjon mellom endring i effekt på 3.5 mMol/L  $[La^-]$  og endring i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out i både absolutte ( $r = 0.58$ ,  $P < 0.05$ ) og relative verdier ( $r = 0.63$ ,  $P < 0.01$ ).

**Endring i  $LBM_{bein}$  og endring effekt på  $[La^-]$  3.5 mMol/L.** Endring i muskelmasse bein hadde moderat korrelasjon med effekt i absolutte verdier ved 3.5 mMol/L  $[La^-]$  ( $r = 0.49$ , ( $P < 0.05$ )). I relative verdier var det også en moderat korrelasjon ( $r = 0.38$ , NS).

**Endring prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring utnyttingsgrad.** Det var en liten korrelasjon mellom endring i prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring i

utnyttingsgrad i relative verdier ( $r = 0.10$ , NS). I absolutte verdier var det en ubetydelig korrelasjon mellom de to variablene ( $r = 0.09$ , NS).

**Endring  $LBM_{\text{bein}}$  og endring utnyttingsgrad.** Det var en liten negativ korrelasjon mellom endring i  $LBM_{\text{bein}}$  og endring i utnyttingsgrad ( $r = -0.21$ , NS). I absolutte verdier var det ubetydelig negativ korrelasjon ( $r = -0.06$ , NS)

**Endring prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring effekt ved  $[La^-] 3.5$  mMol/L.** En negativ korrelasjon ble funnet mellom endring i andel IIA/IIX muskelfibere og endring i effekt ved  $[La^-] 3.5$  mMol/L. Dette gjaldt både i relative verdier der korrelasjonen var stor ( $r = -0.58$ , ( $P < 0.05$ )) og absolutte verdier hvor korrelasjonen var moderat ( $r = 0.49$ , ( $P < 0.05$ )).

**Endring prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring  $\dot{V}O_2$  ved 125 W.** En moderat korrelasjon ble funnet mellom disse variablene i både relative ( $r = 0.38$ , NS) og absolutte verdier ( $r = 0.37$ , NS).

**Endring  $LBM_{\text{bein}}$  og endring  $\dot{V}O_{2 \text{ maks}}$ .** Det var moderat korrelasjon mellom endring i  $LBM_{\text{bein}}$  og  $\dot{V}O_{2 \text{ maks}}$  i relative og absolutte verdier ( $r = 0.36$ , NS,  $r = 0.37$ , NS).

**Endring  $LBM_{\text{bein}}$  og endring 1RM beinpress** hadde moderat korrelasjon i absolutte verdier ( $r = 0.39$ , NS). I relative verdier var det en liten korrelasjon ( $r = 0.17$ ).

**Endring  $LBM_{\text{bein}}$  og endring  $W_{\text{maks}}$ .** I relative verdier korrelerte endring i  $LBM_{\text{bein}}$  og endring i  $W_{\text{maks}}$  moderat ( $r = 0.36$ , NS). Det var bare en liten korrelasjon i absolutte verdier ( $r = 0.16$ , NS).

**Endring 1RM beinpress og endring  $W_{\text{maks}}$**  hadde en liten korrelasjon i både absolutte ( $r = 0.25$ , NS) og relative ( $r = 0.16$ , NS) verdier.

**Endring prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring  $W_{\text{maks}}$ .** Det ble funnet moderat negativ korrelasjon mellom endring i prosentandel hybridmuskelfibere IIA/IIX og endring i  $W_{\text{maks}}$ . Dette gjaldt både for  $W_{\text{maks}}$  i absolutte og relative verdier ( $r = -0.42$ , NS og  $r = -0.45$  NS).

## 5. Diskusjon

Hovedfunnene i denne studien var at styrketrening som et supplement til utholdenhetstrening ser ut til å kunne bedre prestasjonsevnen på 40 min all-out prestasjonstest. Det var en tendens til forskjell i fremgang mellom gruppene. Styrketreningen utført av *U* & *S* førte til en fibertypeovergang fra hybridfibere type IIA/IIX til rene type IIA fibere. *U* & *S* fikk bedre utnyttingsgrad og arbeidsøkonomi, endring i begge disse variablene korrelerte moderat med endring i prestasjon. *U* fikk ingen endring på disse variablene. *U* fikk noe overraskende en reduksjon i  $\text{LBM}_{\text{bein}}$ , noe som kan forklare redusert  $\dot{V}\text{O}_{2\text{maks}}$  hos *U* i absolutte verdier etter intervensjonen.

### 5.1 1RM beinpress

*U* & *S* fikk en økning på 39 % i 1RM på beinpress som følge av 11 uker med samtidig utholdenhet- og styrketrening. Denne økningen var i overensstemmelse i tidligere studier som har funnet at en kan forvente omtrent 40 % styrkefremgang på 11-16 uker hos personer som ikke har trent styrketrening tidligere, som følge av styrketrening alene (Kraemer et al., 2002). Funnet var også i samsvar med tidligere studier som har funnet en økning i 1RM på beinpress som følge av *U* & *S* der styrketreningen var tung og >10 uker (Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000; Glowacki et al., 2004; Hickson et al., 1988). En annen studie som var kortvarig (7 uker) og der det ble brukt lette vekter mange av ukene fordi studien inneholdt både en periode med fokus på å utvikle maksimal styrke uke 1-3, «power» uke 4-5, og muskulær utholdenhet uke 6-7 fikk mye mindre fremgang i 1RM (6,5%) (Balabinis, Psarakis, Moukas, Vassiliou, & Behrakis, 2004).

Noen studier på *U* & *S* har funnet en inhiberende effekt av utholdenhetstreningen på styrkeutvikling (Hickson, 1980; Kraemer et al., 1995). Våre FP fikk en like stor styrketilpasning som følge av *U* & *S* som man kan forvente av styrketrening alene (Kraemer et al., 2002). Det kan hende at utholdenhetstreningen utført av FP i vårt studie ikke var av stort nok volum til å hemme styrketilpasning.

## 5.2 $LBM_{bein}$

$U$  &  $S$  fikk en økning i  $LBM_{bein}$ , et funn som indikerer en økning i muskelmasse og er en motsetning til tidligere funn som ikke fant tegn til muskelfiberhypertrofi i beina etter  $U$  &  $S$  (Hickson et al., 1988; Losnegard et al., 2011), men i samsvar med andre studier (Aagaard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010) som fant en økning i muskeltverrsnitt etter 12 uker med  $U$  &  $S$ . De motstridende funnene kan skyldes forskjeller i treningsstatus ved studiestart og- eller forskjeller i treningsvolum. Styrketrening og utholdenhetstrening aktiverer forskjellige signalveier som skjer ved en kjedereaksjon av proteiner som blir fosforylert (Hawley, 2009). Phosphatidylinositol 3-kinase (PI3-k)–Akt–mammalian target of rapamycin (mTOR) signalveien blir aktivert av styrketrening (Hawley, 2009). Utholdenhetstrening aktiverer signalveier knyttet til den metabolske homeostasen (Hawley, 2009). Disse signalveiene er hittil funnet å inkludere adenosin-monofosfat-aktivert protein kinase (AMPK)–p38 mitogen-aktivert protein kinase (MAPK)– signalveien som blant annet aktiverer peroxisom proliferator-aktivert receptor-gamma coactivator (PGC)-1 (Hawley, 2009). Aktivering av AMPK-signalveien som følge av utholdenhetstrening ser ut til å ha en hemmende effekt på mTOR-signalveien, og dermed hemme muskelvekst (Hawley, 2009). På grunn av dette kan det tenkes at forskjeller i økning i muskelmasse som følge av  $U$  &  $S$  i forskjellige studier kan variere, ikke bare som følge av treningsstatus, treningsvolum og utførelse av styrketreningen i studien, men også som en følge av hvor mye utholdenhetstrening som har blitt utført ved siden av styrketreningen.

$U$  fikk en nedgang i  $LBM_{bein}$  noe som indikerer en nedgang i muskelmasse. Dette funnet er i samsvar med andre studier som har funnet at utholdenhetstrening kan føre til muskelatrofi (Harber, Gallagher, Creer, Minchev, & Trappe, 2004; Trappe et al., 2006). Det kunne på bakgrunn av dette spekuleres i om  $U$  har økt sitt treningsvolum under intervensjonsperioden, men det var ikke forskjell mellom gruppene i mengde utholdenhetstrening og  $U$  &  $S$  har hatt et høyere treningsvolum totalt enn  $U$ . Kroppsmassen til  $U$  ble redusert, noe som indikerer at  $U$  har vært i energiunderskudd. Det er derfor mer sannsynlig at muskelatrofien skyldes utilstrekkelig energiinntak hos  $U$ . Det er vist at energiunderskudd som følge av utholdenhetstrening og begrenset kaloriinntak fører til en reduksjon i Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) (Nemet et al., 2004). Reduksjon i serumkonsentrasjon av både bundet og fritt IGF-1 (Total IGF-1) er i studien til Nemet et al., (2004) vist å ha stor korrelasjon med reduksjon i kroppsmasse (r

= 0.65,  $P < 0.02$ ). Dette er mekanismer som kan forklare  $U$  sin reduksjon i  $LBM_{\text{bein}}$  som følge av at  $U$  enten kan ha økt sitt energiforbruk uten å justere med å øke energiinntak, eller at  $U$  har vært dårligere på energiinntak gjennom sommeren. Det kan være en faktor at intervensjonsperioden pågikk i fellesferien, og det kan tenkes at noen FP endret sine kostholdsrutiner.

Endringen i  $LBM_{\text{bein}}$  korrelerte moderat med 1RM beinpress i absolutte verdier, mens det var liten korrelasjon i relative verdier. Dette indikerer at det også har skjedd andre tilpasninger enn hypertrofi som har ført til den økte muskelstyrken hos  $U$  &  $S$ . Ved oppstart av styrketrening (ofte studier på 8-20 uker) tilskrives styrkeveksten hovedsakelig nevralt tilpasninger som bedre teknikk og evne til å aktivere muskulaturen (Sale, 1988). Det er derfor sannsynlig at mye av økningen i 1RM beinpress hos FP i  $U$  &  $S$  skyldes nevralt tilpasninger. Dette stemmer også bra med fibertypeovergangen som forekom hos  $U$  &  $S$  som følge av 11 uker samtidig utholdenhet- og styrketrening. Fibertypeovergangen kan indikere at nevralt tilpasninger har forekommet. Personer som ikke har drevet med systematisk styrketrening har trolig vanskeligst for å aktivere de motoriske enhetene øverst i rekrutteringshierarkiet (type IIX fibre) (Sale, 1988). I teorien vil de fiberne som ikke blir rekruttert regelmessig uttrykke MyHC IIX (Kraemer et al., 1995; Pette & Staron, 2000). Når disse fiberne først blir rekruttert som følge av for eksempel styrketrening vil de begynne en overgang til å bli en type IIA fiber (Kraemer et al., 1995).

### 5.3 $\dot{V}O_{2\text{maks}}/W_{\text{maks}}$

Overraskende fikk  $U$  redusert  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i absolutte verdier etter 11 uker med kun utholdenhetstrening. Det kan tenkes at det dette skyldes at  $U$  har trent dårligere i intervensjonsperioden enn før, men denne antagelsen strider imot at  $U$  ikke hadde noen endring i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out som bør regnes som et bedre mål på treningsstatus i sykling enn  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ . Dette fordi en prestasjonstest eller konkurranse inkorporerer alle de fysiologiske variablene som bestemmer prestasjonen (Coyle, 1995). Siden relativ  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  forble uendret kan det tenkes at redusert  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i absolutte verdier kan relateres til redusert  $LBM_{\text{bein}}$  som var den gjengse oppfatningen tidligere (Hickson, Rosenkoetter, & Brown, 1980). Dette underbygges av at endring i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$

korrelerte moderat med endring i  $LBM_{\text{bein}}$  i absolutte verdier ( $r = 0.37$ , NS). I relative verdier skjedde det ingen endring i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i noen av gruppene. Losnegård et al., (2011) fant en økning i idrettsspesifikk  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  hos langrennsløpere som følge av *U & S*. FP som tidligere hadde bedre  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i løping enn i skøyting på rulleskimølle fikk en økning i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i skøyting etter 12 uker med *U & S*. Etter intervensjonen hadde FP like høy  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  i skøyting som i løping. Styrkeøvelsene var idrettsspesifikke for skøyting på ski og for både overkropp og bein (Losnegard et al., 2011). Vårt funn som ikke fant noen endring i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  på sykkel på trente kvinner etter *U & S* er i overensstemmelse med tidligere studier som er utført på utholdenhetstrente (Aagaard et al., 2011; Hickson et al., 1988; Sunde et al., 2010). Rønnestad et al., (2010) fant en økning i  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  etter *U & S*, men  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  økte også i kontrollgruppen i den samme perioden (forberedelsesperioden).

*U & S* fikk en tendens til økning i  $W_{\text{maks}}$ . Endring i  $W_{\text{maks}}$  hadde stor korrelasjon med endring i prestasjon i både absolutte og relative verdier noe som stemmer bra tidligere forskning som har funnet  $W_{\text{maks}}$  som en god prediktor for prestasjon i utholdenhetsidrett (Balmer et al., 2000; Hawley & Noakes, 1992; Noakes, Myburgh, & Schall, 1990).

#### **5.4 Utnyttingsgrad og laktatterskel**

*U & S* fikk en bedre estimert utnyttingsgrad som følge av 11 uker samtidig utholdenhet- og styrketrening. Sunde et al., (2010) fant ikke endring i  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT.  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT er en variabel som henger sammen med utnyttingsgraden, men også kapillarisering ser ut til å ha positiv innvirkning på utnyttingsgraden (Joyner & Coyle, 2008). I vår studie fant vi en økning i  $\% \dot{V}O_{2\text{maks}}$  på LT i begge grupper, med ingen forskjell mellom gruppene. Det kan være at kortere intervensjonstid hos Sunde et al., eller at FP hadde et høyere utgangsnivå kan forklare de forskjellige resultatene.  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$  pre hos Sunde et al., (2010) sine FP i *U & S* gruppen var  $63.4 \pm 6$ , mot  $54 \pm 4$  mL  $O_2$ /min/kg i vår studie. Sett i lys av at nesten alle FP i studien til Sunde et al. var menn er det likevel ikke så sikkert at de lå noe nærmere sitt biologiske potensiale enn våre FP. Det er svært få eller ingen som har studert effekten av *U & S* på utnyttingsgrad tidligere. Grunnen til dette kan skyldes at det er svært upraktisk og ubehagelig for FP å gjennomføre  $\dot{V}O_2$  målinger under lange perioder om gangen. En svakhet ved metoden som ble brukt for å måle

utnyttingsgrad i dette forskningsprosjektet er at utnyttingsgraden kun ble estimert ut fra korte perioder med målinger. På den måten kunne målingene gi et feil bilde av utnyttingsgraden dersom FP justerte intensiteten mye mellom målingene. Under testene gjorde FP i liten grad endringer mellom hver måleperiode for  $\dot{V}O_2$  (data ikke tatt med i oppgaven), og de fikk ikke lov til å endre på arbeidsintensiteten minuttet før hver måleperiode eller under det minuttet hver måleperiode varte. I den grad FP gjorde forandringer på arbeidsbelastning mellom hver måleperiode burde det i teorien være noenlunde likt mellom begge grupper.

Den kalkulerte effekten ved  $[La^-]$  3.5mMol/L ble høyere hos *U* & *S* etter intervensjonsperioden. Dette samsvarer med Rønnestad et al., (2010) som fant økt effekt på 2 mMol/L. Aagaard et al., 2011 fant derimot ikke økt effekt ved 4 mMol/L etter *U* & *S*. Den økte effekten ved  $[La^-]$  3.5mMol/L hos *U* & *S* er muligens et resultat av bedre arbeidsøkonomi, siden  $\dot{V}O_2$  ved  $[La^-]$  3,5mMol/L økte i relative verdier for begge grupper, men kun *U* & *S* fikk omgjort økt  $\dot{V}O_2$  til større effekt. Rønnestad et al., (2010) fikk redusert arbeidsøkonomi hos sin gruppe *U*, mens *U* & *S* beholdt sin opprinnelige arbeidsøkonomi. Det har blitt observert et omvendt forhold mellom  $\dot{V}O_{2maks}$  og arbeidsøkonomi blant elite syklister (Lucia et al., 2002). Rønnestad et al., (2010) foreslo på bakgrunn av dette at styrketreningen muligens førte til at arbeidsøkonomien hos *U* & *S* ikke ble dårligere selv om  $\dot{V}O_{2maks}$  økte. *U* hadde en tendens til økt tråkkfrekvens på 150 W under laktatprofiltesten, noe som kan ha spilt inn negativt på arbeidsøkonomien hos *U*. Imidlertid var det ingen signifikante forskjeller i tråkkfrekvens på 150 W mellom *U* & *S* og *U* hverken pre ( $83 \pm 13$  vs.  $82 \pm 13$  rpm) eller post ( $83 \pm 9$  vs.  $86 \pm 12$  rpm).

Det var liten korrelasjon mellom endring i prosentandel IIA/IIX muskelfibere og endring i utnyttingsgrad.  $LBM_{bein}$  hadde en liten negativ korrelasjon med utnyttingsgrad. Derfor kan det spekuleres i at *U* & *S* fikk bedre utnyttingsgrad på grunn av økt mitokondrietetthet, eller har blitt bedre til å bruke tilgjengelig muskulatur som følge av *U* & *S*. Coyle foreslo at forskjell mellom to grupper syklister der den ene gruppen var bedre enn den andre, kunne skyldes bedre bruk av hofteekstensorene i den beste gruppen og at disse syklistene dermed distribuerte arbeidet over større muskelmasse og reduserte muskulært stress (Coyle, 1995). Styrkeøvelsene i vår studie hadde to øvelser der hofteekstensorene bidrar med en betydelig del av arbeidet. Dermed

kan det hende at FP i *U & S* gruppen i større grad enn tidligere tar i bruk hofteekstensorene i nedtråkket på grunn av økt styrke og bedret innervring i disse musklene.

## **5.5 Arbeidsøkonomi**

*U & S* sin forbedring i arbeidsøkonomi på 125 W er et funn som ikke har blitt funnet i to liknende studier som undersøkte arbeidsøkonomi under trinnvis submaksimal test med 5 minutter lange drag (Aagaard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010). Forbedringen i arbeidsøkonomi hos *U & S* var ikke signifikant forskjellig fra *U*, så det er derfor ikke sikkert at det var styrketreningen som førte til en forbedring i arbeidsøkonomi.

Endringen i arbeidsøkonomi hos *U & S* i denne studien er imidlertid i samsvar med funn av Sunde et al., (2010) som fant bedre arbeidsøkonomi ved effekt tilsvarende 70 %  $\dot{V}O_{2maks}$ . De motstridende funnene kan skyldes at utgangsnivået til FP i studiene av Aagaard et al., og Rønnestad et al., var bedre enn i vår studie. Sunde et al., (2010) sine FP hadde også noe lavere pre verdier i  $\dot{V}O_{2maks}$  enn Rønnestad et al., (2010). Metoden brukt for å måle arbeidsøkonomien er også forskjellig mellom Sunde og de to andre studiene, og kan ha spilt inn. Rønnestad et al., fant at det var under den siste timen av en 185 minutter lang test på 44% av  $W_{maks}$  *U & S* fikk bedre arbeidsøkonomi i forhold til *U* som følge av 12 uker samtidig utholdenhet- og styrketrening (Rønnestad et al., 2011). Våre FP var ikke på et like høyt nivå som FP i studiene til Aagaard et al. og Rønnestad et al. Dermed kan det hende at våre forsøkspersoner ikke trengte et like stort arbeid eller varighet før de tok i bruk muskelfiberne i øvre del av rekrutteringshierarkiet. Dette kan være årsaken til at det var mulig å påvise en bedring i arbeidsøkonomi under en trinnvis submaksimal test med 5 minutters drag i vår studie. Det kan også tenkes at FP i studiene til Aagaard et al. og Rønnestad et al. har en høyere prosentandel type I fibre enn FP i vår studie fordi høy prosentandel type I-fibre er relatert til høyere prestasjonsnivå (Coyle et al., 1991). FP med stor andel type I fibre vil kanskje få en mindre effekt på arbeidsøkonomi av sterkere type I fibre på lavere arbeidsbelastninger. Dette fordi det ikke får noen konsekvens for arbeidsøkonomien å rekruttere flere type I fibre (Coyle et al., 1992). Dersom FP ikke har flere type I fibre å rekruttere må mindre arbeidsøkonomisk type II fibre tas i bruk.



## 5.6 HF under trinnvis test

Hos *U* skjedde det en liten reduksjon i HF på 100 W. Dette skjedde ikke hos *U* & *S*. På de andre belastningene skjedde det ingen endring i HF hos noen av gruppene. *U* sin 2% reduksjon i HF på 100 W er noe overraskende da *U* hadde 5% reduksjon i  $\dot{V}O_{2maks}$  mellom pre og post-testene. Endringer i  $\dot{V}O_{2maks}$  kan blant annet skyldes endringer i slagvolum og eller endring i  $(a-\bar{v})O_2$  differanse (Ekblom et al., 1968). *U* sin reduksjon i HF ved 100 W taler for at *U* kan ha fått et større slagvolum (E. H. Christensen (sitert av (Bassett & Howley, 2000)). Dette understøtter teorien om at *U* sin reduserte  $LBM_{bein}$  kan være årsak til reduksjonen i  $\dot{V}O_{2maks}$  i absolutte verdier gjennom en redusert  $(a-\bar{v})O_2$  differanse. *U* sin reduksjon i HF på 100 W men ingen av de andre belastningene kan være påvirket av *U* sin ikke-signifikante økning i tråkkfrekvens ved alle belastningene. Økningen i tråkkfrekvens hos *U* var større jo høyere effekt det ble arbeidet på, men først ved 150 W kunne man kalle det en tendens ( $P = 0.07$ ). To tidligere studier som hadde HF målinger på submaksimale belastninger fant en reduksjon i HF på submaksimale belastninger hos både *U* & *S* og *U* (Losnegard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010). I begge studiene økte  $\dot{V}O_{2maks}$  i begge grupper, men det var kun i studien til Rønnestad et al. det var signifikant økning i  $\dot{V}O_{2maks}$  hos *U*. Losnegård et al., (2011) studerte elite langrennsløpere, mens Rønnestad et al., (2010) studerte syklister. Felles for begge disse studiene var at de hadde FP på høyt prestasjonsnivå, og at intervensjonsperioden begynte tidlig i deres treningsår. Det er vanlig at idrettsutøvere slik som FP i studien til Rønnestad et al. og studien til Losnegård et al. har en periode med mindre utholdenhetstrening etter endt konkurransesesong. Derfor var en økning i  $\dot{V}O_{2maks}$  hos både *U* & *S* og *U* forventet av Rønnestad et al. (2010). Vår gruppe med FP var ikke like homogen som FP studert av Rønnestad et al. og Losnegård et al. På grunn av dette er det lite sannsynlig at våre FP hadde noen felles tidsramme på når en aktiv avkoblingsperiode finner sted, dersom en slik periode ble brukt planmessig i det hele tatt.

## 5.7 Borgs RPE

*U* & *S* fikk en reduksjon i opplevd anstrengelse som indikert av lavere score på Borgs RPE skala ved 100 og 125 W under den submaksimale trinnvise testen. Ved 150 W var det en tendens til lavere RPE. Reduksjonen i RPE og reduksjon i  $[La^-]$  ved 125 og 150 W som skjedde kun hos *U* & *S* kan henge sammen, som foreslått av Rønnestad et al., (2010). Rønnestad et al. fant den største forskjellen mellom gruppene etter en stund ut i

syklistene sin konkurranseperiode, da de bare vedlikeholdt styrken. Da fant de en reduksjon i  $[La^-]$  ved 275 W, og redusert RPE ved 225 og 275 W hos *U & S*. En reduksjon i RPE hos *U & S* men ikke hos *U*, indikerer at *U & S* utviklet mindre grad av tretthet enn tidligere på samme belastning til forskjell fra *U*. *U & S* kan på grunn av dette ha tatt i bruk færre type II fibre enn tidligere på de samme submaksimale belastningene ved post-testing. Reduksjonen i  $[La^-]$  og  $\dot{V}O_2$  hos *U & S* ved de samme submaksimale arbeidsbelastningene kan indikere redusert rekruttering av type II fibre. Type II fibre er både mindre oksidative, (Herbison et al., 1982) og mindre arbeidsøkonomiske (Bottinelli & Reggiani, 2000; Stienen et al., 1996) enn type I fibre.

## **5.8 Fibertypesammensetning**

Det ble ikke registrert rene type IIX fibre i noen av gruppene fra pre-biopsier, bortsett fra én IIX fiber hos én FP i *U & S* gruppen. Begge gruppene hadde imidlertid en del fibre som var i mellomstadiet mellom IIX og IIA. Fraværet av rene IIX fibre hos begge grupper i pre-biopsiene kan forklares ved at alle FP var utholdenhetstrening. Det er vist at utholdenhetstrening på høy intensitet kan føre til en fibertypeovergang fra IIX til IIA, men at styrketrening fører til en ytterligere fibertypeovergang (Kraemer et al., 1995). *U & S* sin fibertypeovergang fra hybridfibre IIX/IIA til rene IIA fibre er i samsvar med tidligere studier som har sett på styrketrening alene (Adams et al., 1993; Staron et al., 1994). Når det gjelder fibertypeovergang ved *U & S* er det både gjort studier som har funnet en fibertypeovergang (Aagaard et al., 2011; Kraemer et al., 1995), og en studie som ikke lyktes i å finne fibertypeovergang (Bishop et al., 1999). Bishop et al., (1999) spekulerte i om lave pre-verdier i andelen type IIX fibre i deres FP kunne være årsak til at det ikke skjedde noen fibertypeovergang. Dersom dette er tilfelle vil det være spesielt, da Aagaard et al., (2011) hadde FP som var bedre trent enn Bishop et al., (1999). *U & S* hadde et større totalt treningsvolum enn *U*, denne forskjellen var imidlertid ikke signifikant. Det er usikkert om fibertypeovergang hos *U & S*, men ikke hos *U* skjedde som følge av styrketreningen, eller om forskjellen i treningsvolum kan være en faktor.

Grad av fibertypeovergang hadde god korrelasjon med endring i prestasjon på 40 min all-out. Det var liten negativ korrelasjon mellom fibertypeovergang og endring i utnyttingsgrad, mens korrelasjonen var stor (negativ) mellom fibertypeovergang og effekt ved  $[La^-]3.5$  mMol/L. Endring prosentandel IIA/IIX muskelfibre og endring

$W_{maks}$  hadde moderat negativ korrelasjon. Det er uklart om fibertypeovergangen er årsak til, eller bare skjer samtidig med endringen i prestasjon og variablene knyttet til prestasjonsevnen på 40 min all-out.

Tendensen til reduksjon i andel type I fibre skyldes trolig ikke en faktisk fibertypeovergang, da andel type I fibre pleier å forbli uberørt av styrketrening (Adams et al., 1993). Variasjonskoeffisienten for fibertypfordelingen mellom muskelbiopsier kan være stor, selv for biopsier tatt like ved hverandre i samme muskel (LEXELL, Henriksson-Larsén, & Sjöström, 1983)

## **5.9 40 min all-out utholdenhetsprestasjon**

$U$  &  $S$  sin tendens til større økning i gjennomsnittseffekt på all-out test, i forhold til  $U$  stemmer overens med flere tidligere studier gjort på  $U$  &  $S$  (Aagaard et al., 2011; Hickson et al., 1988; Izquierdo et al., 2010; Losnegard et al., 2011; Rønnestad et al., 2010; Sunde et al., 2010). Felles for disse studiene er at styrketreningen i likhet med i denne studien har blitt utført med tunge vekter og få repetisjoner. Endring i gjennomsnittswatt hos  $U$  &  $S$  skyldes trolig bedre utnyttingsgrad og bedre arbeidsøkonomi. Både estimert utnyttingsgrad og endring i  $\dot{V}O_2$  ved 125 W hadde moderat korrelasjon med endringen i gjennomsnittswatt. Det er mange potensielle faktorer som kan ha innvirket på disse variablene.

Redusert RPE,  $\dot{V}O_2$  og  $[La^-]$  hos  $U$  &  $S$  på submaksimale belastninger kan indikere endret rekruttering av muskelfibere. Dette skjedde ikke hos  $U$ . Dersom FP har fått sterkere type I fibre som følge av  $U$  &  $S$  kan det hende at FP kan gjøre et større arbeid før mindre arbeidsøkonomiske type II fibre blir rekruttert (Duchateau et al., 2006; Hickson et al., 1988; Marcinik et al., 1991; Rønnestad et al., 2010). Dette kan resultere i redusert ATP forbruk per enhet av kontraktil kraft i type II fiberne, og en mulig glykogensparende effekt i disse fiberne (Hickson et al., 1988). Endring i 1 RM hadde en liten korrelasjon med endring i gjennomsnittseffekt på prestasjonstesten. Fibertypeovergangen som skjedde hos  $U$  &  $S$  kan også ha bidratt til bedre arbeidsøkonomi ved at det ble færre uøkonomiske type IIX muskelfibere tilgjengelig. Det var moderat negativ korrelasjon mellom endring i andel type IIA/IIX hybridfibre

og  $\dot{V}O_2$  ved 125 W. Dette var den eneste variabelen som hadde moderat eller bedre korrelasjon med endring i andel type hybridfibere bortsett fra prestasjon som hadde stor korrelasjon med endring i andel IIA/IIX. I denne studien er ikke data på RFD undersøkt. Tidligere studier har sett at *U & S* har ført til høyere RFD (Aagaard et al., 2011; Østerås et al., 2002; Sunde et al., 2010). Høyere RFD kan teoretisk bedre arbeidsøkonomien ved å øke lengden på mikropausene mellom hver muskelaksjon (Aagaard & Andersen, 2010). Lengre mikropauser kan øke  $O_2$ - og substrattilgjengelighet samt fjerning av metabolitter fra arbeidende muskulatur (Østerås et al., 2002). Dette kan gjøre arbeidende muskelfibere mer resistente mot tretthet og motvirke rekrutteringen av uøkonomiske muskelfibere høyere i rekrutteringshierarkiet (Østerås et al., 2002).

Endring i estimert utnyttingsgrad under 40 min all-out korrelerte dårlig med både endring i  $LBM_{\text{bein}}$  og endring i fibertypesammensetning. Dette indikerer at det er lite sannsynlig at disse variablene påvirket utnyttingsgraden. Endring i  $LBM_{\text{bein}}$  hadde overraskende en liten negativ korrelasjon med endring i estimert utnyttingsgrad. Derimot korrelerte endring i  $LBM_{\text{bein}}$  moderat med endring i effekt ved  $[La^-]$  3.5 mMol/L. Det er mulig at estimert utnyttingsgrad hos *U & S* ble bedre som følge av en bedret evne til å fordele arbeidet over et større muskelareal, som foreslått av Coyle et al., (1995). To av styrkeøvelsene som ble gjennomført av *U & S* krevde stor grad av aktivisering av hofteekstensorene. Coyle, (1995) foreslo at evnen til å bruke hofteekstensorene kunne være en av faktorene som skilte de med høy utnyttingsgrad fra de med lav utnyttingsgrad. Dersom *U & S* har fått høyere RFD som følge av styrketreningen kan det i teorien være gunstig for utnyttingsgraden ved at den arbeidende muskulaturen får lenger mikropauser (Aagaard & Andersen, 2010; Østerås et al., 2002). På grunn av at *U & S* fikk et større treningsvolum enn *U* kan man ikke vite om det var styrketreningen, eller større totalt treningsvolum som førte til tendens til større fremgang i gjennomsnittseffekt på 40 min all-out hos *U & S* i forhold til *U*.

## 6. Konklusjon

*U* & *S* ser ut til å kunne gi større fremgang på utnyttingsgrad, arbeidsøkonomi og prestasjon enn *U*, mens det gir ingen påvirkning på  $\dot{V}O_{2\text{maks}}$ . Våre funn underbygger at sannsynlige mekanismer bak bedret arbeidsøkonomi som følge av *U* & *S* kan være endret rekruttering som følge av sterkere type I fibere, og fibertypeovergang til mer energiøkonomiske fibere. Det lyktes ikke å finne en variabel som korrelerte bra med bedret utnyttingsgrad hos *U* & *S*. Det ble funnet en stor (negativ) korrelasjon mellom grad av fibertypeovergang fra hybridfibere IIA/IIIX til type IIA og endring i prestasjon.

## 7. Referanser

Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R. et al. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21, e298-e307.

Aagaard, P. & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 39-47.

Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Halkjaer-Kristensen, J., & Dyhre-Poulsen, P. (2000). Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 89, 2249-2257.

Aasen, S., Frøyd, C., Madsen, Ø., Sæterdal, R., Tønnessen, E., & Wisnes, A. (2008). Utholdenhet-trening som gir resultater. *Akilles Forlag: Oslo, Norway*.

Adams, G. R., Hather, B. M., Baldwin, K. M., & Dudley, G. A. (1993). Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 74, 911-915.

Allen, W. K., Seals, D. R., Hurley, B. F., Ehsani, A. A., & Hagberg, J. M. (1985). Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 58, 1281-1284.

Andersen, J. L. & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle & nerve*, 23, 1095-1104.

Balabinis, C., Psarakis, C., Moukas, M., Vassiliou, M., & Behrakis, P. (2004). EARLY PHASE CHANGES BY CONCURRENT ENDURANCE AND STRENGTH TRAINING. In *In Klisouras, V. (ed.), 2004 PRE-OLYMPIC CONGRESS: Proceedings: VOLUME I: LECTURES-ORALS: SPORT SCIENCE THROUGH THE AGES, 6-11 AUGUST 2004, THESSALONIKI/HELLAS, ARISTOTLE UNIVERSITY CAMPUS*,

Thessaloniki, Greece, Aristotle University of Thessaloniki, Department of Physical Education & Sport Science, [2004], p.417-418 ( Greece.

Balmer, J. A. M. E., Davison, R. R., & Bird, S. R. (2000). Peak power predicts performance power during an outdoor 16.1-km cycling time trial. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 1485-1490.

Bassel-Duby, R. & Olson, E. N. (2006). Signaling pathways in skeletal muscle remodeling. *Annual Review of Biochemistry*, 75, 19-37.

Bassett, D. R. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 70-84.

Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur.J.Appl.Physiol*, 86, 79-84.

Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European journal of applied physiology*, 81, 418-427.

Bentley, D. J., Wilson, G. J., Davie, A. J., & Zhou, S. (1998). Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triathletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38, 201-207.

Bijker, K., De Groot, G., & Hollander, A. (2002). Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European journal of applied physiology*, 87, 556-561.

Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31, 886-891.

Blomstrand, E. & Ekblom, B. (1982). The needle biopsy technique for fibre type determination in human skeletal muscle—methodological study. *Acta Physiologica Scandinavica*, 116, 437-442.

Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14, 377-381.

Bottinelli, R. & Reggiani, C. (2000). Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 73, 195-262.

Burke, E. R., Cerny, F. R. A. N., Costill, D. A. V. I., & Fink, W. I. L. L. (1977). Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. *Medicine and Science in Sports*, 9, 109.

Cerretelli, P. & Prampero, P. E. (1987). Gas exchange in exercise. *Comprehensive Physiology*.

Chavarren, J. & Calbet, J. A. L. (1999). Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80, 555-563.

Costill, D. L., Thomason, H., & Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine & Science in Sports*, 5, 248-252.

Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40, 149-154.

Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23, 25-63.

Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M. et al. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*, 23, 93-107.

Coyle, E. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., Hagberg, J. M., Bloomfield, S. A., Sinacore, D. R. et al. (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *Journal of Applied Physiology*, 54, 18-23.



- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K., & Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *Journal of Applied Physiology*, *64*, 2622-2630.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *24*, 782-788.
- Currell, K. & Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Medicine*, *38*, 297-316.
- Duchateau, J., Semmler, J. G., & Enoka, R. M. (2006). Training adaptations in the behavior of human motor units. *Journal of Applied Physiology*, *101*, 1766-1775.
- Eklom, B., Astrand, P. O., Saltin, B., Stenberg, J., & Wallström, B. (1968). Effect of training on circulatory response to exercise. *Journal of Applied Physiology*, *24*, 518-528.
- Ettema, G. (2001). Muscle efficiency: the controversial role of elasticity and mechanical energy conversion in stretch-shortening cycles. *European journal of applied physiology*, *85*, 457-465.
- Foss, Ø. & Hallen, J. (2004). The most economical cadence increases with increasing workload. *European journal of applied physiology*, *92*, 443-451.
- Gaesser, G. A. & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *24*, 35-70.
- Glowacki, S. P., Martin, S. E., Maurer, A., Baek, W. O. O. Y., Green, J. S., & Crouse, S. F. (2004). Effects of resistance, endurance, and concurrent exercise on training outcomes in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *36*, 2119-2127.
- Green, H. J., Klug, G. A., Reichmann, H., Seedorf, U., Wiehrer, W., & Pette, D. (1984). Exercise-induced fibre type transitions with regard to myosin, parvalbumin, and sarcoplasmic reticulum in muscles of the rat. *Pflügers Archiv*, *400*, 432-438.

Hallén, J. (2002). Hva bestemmer prestasjonen i utholdenhetsaktiviteter? Artikkel til modulen "fysiologisk adaptasjon til utholdenhetstrening". *Norges Idrettshøgskole*.

Hansen, E. A., Raastad, T., & Hallén, J. (2007). Strength training reduces freely chosen pedal rate during submaximal cycling. *European journal of applied physiology*, *101*, 419-426.

Harber, M. P., Gallagher, P. M., Creer, A. R., Minchev, K. M., & Trappe, S. W. (2004). Single muscle fiber contractile properties during a competitive season in male runners. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *287*, R1124-R1131.

Hawley, J. A. (2009). Molecular responses to strength and endurance training: Are they incompatible? This paper article is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled 14th International Biochemistry of Exercise Conference- Muscles as Molecular and Metabolic Machines, and has undergone the Journal's usual peer review process. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *34*, 355-361.

Hawley, J. A. & Noakes, T. D. (1992). Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *65*, 79-83.

Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol*, *28*, 560-580.

Herbison, G. J., Jaweed, M. M., & Ditunno, J. F. (1982). Muscle fiber types. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *63*, 227.

Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J.Appl.Physiol*, *65*, 2285-2290.

Hickson, R. C., Rosenkoetter, M. A., & Brown, M. M. (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *12*, 336.

Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 45, 255-263.

Holloszy, J. O. (1967). Biochemical adaptations in muscle effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *Journal of Biological Chemistry*, 242, 2278-2282.

Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56, 831-838.

Hopker, J., Passfield, L., Coleman, D., Jobson, S., Edwards, L., & Carter, H. (2009). The effects of training on gross efficiency in cycling: a review. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 845-850.

Hopkins, W., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41, 3.

Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., & Coyle, E. F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 152-157.

Ivy, J. L., Withers, R. T., Van Handel, P. J., Elger, D. H., & Costill, D. L. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *Journal of Applied Physiology*, 48, 523-527.

Izquierdo, M. I. K. E., Exposito, R. J., Garcia-Pallare, J., Medina, L., & Villareal, E. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Sci Sports Exerc*, 42, 1191-1199.

Jansson, E. & Hedberg, G. (1991). Skeletal muscle fibre types in teenagers: relationship to physical performance and activity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 1, 31-44.

- Jones, A. M. & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29, 373-386.
- Joyner, M. J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology*, 70, 683-687.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586, 35-44.
- Kiens, B., Essen-Gustavsson, B., Christensen, N. J., & Saltin, B. (1993). Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in man: effect of endurance training. *The Journal of physiology*, 469, 459-478.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S. et al. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 364-380.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K. A. T. Y. et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 78, 976-989.
- Krustrup, P., Secher, N. H., Relu, M. U., Hellsten, Y., S+Åderlund, K., & Bangsbo, J. (2008). Neuromuscular blockade of slow twitch muscle fibres elevates muscle oxygen uptake and energy turnover during submaximal exercise in humans. *The Journal of physiology*, 586, 6037-6048.
- Kubo, K., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2002). Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *The Journal of physiology*, 538, 219-226.
- Levin, G. T., Mcguigan, M. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *J.Strength.Cond.Res.*, 23, 2280-2286.

LEXELL, J., Henriksson-Larsén, K., & Sjöström, M. (1983). Distribution of different fibre types in human skeletal muscles. 2. A study of cross-sections of whole m. vastus lateralis (La repartition des différents types de fibres dans les muscles squelettiques humains. 2. Une étude de sections transversales du vaste latéral tout entier). *Acta Physiologica Scandinavica*, 117, 115-122.

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, 389-401.

Lucia, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. / Physiologie des coureurs cyclistes professionnels sur route. *Sports Medicine*, 31, 325-337.

Lucia, A., Pardo, J., Durantez, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 342-348.

Lucia, A., Hoyos, J. E. S. O., Perez, M. A. R. G., Santalla, A. L. F. R., & Chicharro, J. L. (2002). Inverse relationship between  $\dot{V}O_{2\max}$  and economy/efficiency in world-class cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 2079-2084.

Lucia, A., Juan, A. F. S., Montilla, M. A. N. U., Canete, S. I. L. V., Santalla, A. L. F. R., Earnest, C. O. N. R. et al. (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1048-1054.

Marcinik, E. J., Potts, J., Schlabach, G., Will, S., Dawson, P., & Hurley, B. F. (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 739-743.

Nemet, D., Connolly, P. H., Pontello-Pescatello, A. M., Rose-Gottron, C., Larson, J. K., Galassetti, P. et al. (2004). Negative energy balance plays a major role in the IGF-I response to exercise training. *Journal of Applied Physiology*, 96, 276-282.

Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the V O<sub>2</sub> max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8, 35-45.

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, 255-263.

Pate, R. R. & Kriska, A. (1984). Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Medicine*, 1, 87-98.

Pette, D. & Staron, R. S. (2000). Myosin isoforms, muscle fiber types, and transitions. *Microscopy Research and Technique*, 50, 500-509.

Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur.J.Appl.Physiol*, 108, 965-975.

Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21, 250-259.

Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). Strength training affects tendon cross-sectional area and freely chosen cadence differently in noncyclists and well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 158-166.

Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20, S135-S145.

Sjodin, B., Jacobs, I., & Karlsson, J. (1981). Onset of blood lactate accumulation and enzyme activities in m. vastus lateralis in man. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 166-170.

Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E. et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 76, 1247-1255.

Stienen, G. J., Kiers, J. L., Bottinelli, R., & Reggiani, C. (1996). Myofibrillar ATPase activity in skinned human skeletal muscle fibres: fibre type and temperature dependence. *J.Physiol*, 493 ( Pt 2), 299-307.

Sunde, A., Storen, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J.Strength.Cond.Res.*, 24, 2157-2165.

Trappe, S., Harber, M., Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Minchev, K. et al. (2006). Single muscle fiber adaptations with marathon training. *Journal of Applied Physiology*, 101, 721-727.

Weibel, E. R. (1984). *The pathway for oxygen: structure and function in the mammalian respiratory system*. Harvard University Press.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2004). *Physiology of sport and exercise*. (726 ed.) Human kinetics USA.

## 8. Vedlegg

### 8.1 Vedlegg nummer 1

Protokoll utarbeidet av Erika Zacharoff ved patologisk avdeling, Sykehuset Innlandet, avdeling Lillehammer.

#### 8.1.1 Program for forberedelse av vevsprøver i Exelsior ES, Thermo Scientific, Rockford, IL, USA

En forutsetning for bruk av programmet er att vevet er godt fiksert på forhånd.

Programmet tar 13 timer.

- Formalin 1 time, i romtemperatur (RT)
- Formalin 1 time, (RT)
- 75% alkohol 1 time, (RT)
- 90% alkohol 1 time, (RT)
- 96% alkohol 1 time, (RT)
- 100% alkohol 1 time, (RT)
- 100% alkohol 1 time, (RT)
- 100% alkohol 1 time, (RT)
- Xylen 1 time, (RT)
- Xylen 1 time, (RT)
- Xylen 1 time, 40°C
- Parafin 1 time, 62°C
- Parafin 1 time, 62°C
- Parafin 1 time, 62°C



## **8.2 Vedlegg nummer 2**

### **8.2.1 Forbehandling av snitt for immunhistokjemisk infarging**

#### **Avparafinering**

- Snittene inkuberes 2 x 10 minutter i Xylen
- Snittene inkuberes 2 x 5 minutter i 100% alkohol
- Snittene inkuberes 1 x 5 minutter i 70% alkohol
- Snittene inkuberes 1 x 5 minutter i 50% alkohol
- Snittene inkuberes 1 x 5 minutter i H<sub>2</sub>O

#### **Varmebehandling i PT link (Dako, Glostrup, Danmark)**

- PT-linken med EnVision™ target retrieval solution (ETRS); lav pH (K8005, Dako, Glostrup, Danmark) eller høy pH(K8004, Dako, Glostrup, Danmark) forvarmes til 75 °C.
- Snittene som infarges for MyHC I varmebehandles i buffer med høy pH mens snittene som infarges for MyHC IIa och IIx behandles i buffer med lav pH.
- Snittene går gjennom en 20 minutter lang varmebehandling ved 97 °C.
- Snittene blir nedkjølt til 70°C.
- Snittene vaskes 2 x 5 minutter i buffer (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).

#### **Enzymatisk forbehandling med Proteinase K**

- Snittene inkuberes i 100ml proteinase K i fem minutter(S3020, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene vaskes 1 x 5 minutter i buffer (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).
- **Innfarging av muskelsnittet i Dako Autostainer Plus**
- Snittene inkuberes i 100ml Envison Flex Peroxidase-blocking reagent i 5 minutter (K 8000, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene vaskes i buffer i 5 minutter (K8007, Dako, Glostrup, Danmark)

- Snittene inkuberes i 20 minutter med 100ml av de respektive antistoffene (MyHC I, A4.840 H. Blau, fortynning 1:50, Stanford, USA; MyHC IIa, EPR5280, fortynning 1:50, Nordicbiosite, Oslo, Norge; MyHC IIx, 6H1 Lucas, fortynning 1:50, Sydney, Australia).
- Snittene vaskes i buffer i 5 minutter (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene inkuberes i 100ml Envision FLEX+ Mouse(linker) i 15 minutter (K8000, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snitten vaskes i buffer i 5 minutter (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene inkuberes i 100ml Polymer HRP i 20 minutter (K8000, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene vaskes i buffer i 5 minutter (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene inkuberes i 100ml Substrate working solution i 10 minutter (K8000, Dako, Glostrup, Danmark).
- Snitten vaskes i buffer i 5 minutter (K8007, Dako, Glostrup, Danmark).

### **Manuell kontrast farging med hematoxylin**

- Snittene inkuberes i 1 min i Hematoxylin (Dako, Glostrup, Danmark).
- Snittene vaskes i H<sub>2</sub>O i 5 minutter,
- Snittene inkuberes 2 x 5 minutter i 100% alkohol
- Snittene inkuberes 2 x 10 minutter i Xylen.