

Jon Åsbjørn Hauge

---

## Betydning av tråkkfrekvens for prestasjon og energiomsetning ved høye belastninger hos elitesyklister

---

Masteroppgave i idrettsvitenskap  
Seksjon for fysisk prestasjonsevne  
Norges idrettshøgskole, 2018



## Sammendrag

**Formål:** Formålet med studien var å undersøke om det var forskjeller i prestasjon ved en supramaksimal belastning hos elitesyklister ved henholdsvis 80 og 100 tråkk per min (RPM) og om det aerobe bidraget ved den supramaksimale belastningen var ulikt ved de to tråkkfrekvensene. Vi ville også undersøke om elitesyklister har en bedre arbeidsøkonomi ved 80 sammenlignet med 100 RPM.

**Metode:** Ti mannlige syklister på nasjonalt elitenivå med gjennomsnittlig ( $\pm$  standardavvik) alder, vekt og høyde på 23 (5,5) år, 76 (5,3) kg og 181 (3,1) cm deltok i studien. Deres maksimale oksygenopptak ved sykling var 73,3 (2,3) ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. De gjennomførte tester over to dager. Første dag testet de oksygenopptak på fire submaksimale belastninger (100, 175, 250, 325 watt) ved tråkkfrekvensene 80 og 100 RPM, samt det maksimale oksygen opptaket (VO<sub>2</sub>maks) ved valgfri tråkkfrekvens. På andre testdag ble akkumulert oksygenopptak (VO<sub>2</sub>) målt ved 80 og 100 RPM under to drag (DRAG1 og 2) på om lag 105% av maksimal aerob effekt (MAP). Før selve draget syklet forsøkspersonene på 150 watt i 10,5 min ved 90 RPM unntatt siste 2 min som var på samme RPM som i påfølgende DRAG. DRAG1 varte i 90 s, mens DRAG2 varte til utmattelse. Disse testene ble gjennomført først på den ene tråkkfrekvensen og etter 60 min pause ble protokollen gjentatt på gjenværende tråkkfrekvens. Rekkefølgen på frekvensene ble “counterbalansert”.

**Resultater:** Tid til utmattelse (prestasjonen) var ikke signifikant forskjellig mellom de to tråkkfrekvensene. Ved de submaksimale belastningene var VO<sub>2</sub> 13,9 (3,0)%, 9,0 (2,1)%, 5,1 (1,8)% og 3,6 (1,8)% høyere for 100 sammenlignet med 80 RPM ved 100, 175, 250 og 325 watt ( $p < 0,001$ ). I starten av de supramaksimale dragene var VO<sub>2</sub> høyere ved 100 RPM fordi VO<sub>2</sub> var høyere på den innledende submaksimale belastningen. Akkumulert VO<sub>2</sub> fra 30 s og til avslutning av dragene var ikke forskjellig mellom de to tråkkfrekvensene verken for DRAG1 eller DRAG2.

**Konklusjon:** Vi fant ingen forskjell i akkumulert VO<sub>2</sub> eller prestasjon mellom 80 og 100 RPM ved supramaksimal belastning hos elitesyklister. Vi fant i likhet med tidligere studier bedre arbeidsøkonomi ved 80 enn 100 RPM ved submaksimale belastninger. Forskjellen i VO<sub>2</sub> mellom 80 og 100 RPM reduseres imidlertid med økende belastning.

## Forord

Det har vært utrolig spennende, givende og utfordrende å gjennomføre et prosjekt innenfor et område jeg har stor interesse for og lærings utbytte har vært stort.

Først og fremst ønsker jeg å takke min hovedveileder Bjarne Rud for veldig god oppfølging og veiledning gjennom prosjektet og skriveprosessen. Veiledningen og innspillene du har gitt meg gjennom planlegging, datainnsamling, databehandling og skriving har vært uvurderlig og settes veldig stor pris på.

Jeg ønsker også og gi en stor takk til min biveileder Jostein Hallén, for din oppfølging og dine innspill gjennom hele oppgave prosessen.

Takk til Svein Leirstein for din hjelp med innsamling av laktatverdier og samarbeidet under datainnsamlingen.

Sist, men ikke minst rettes en stor takk til alle forsøkspersonene som har deltatt i prosjektet. Deres vilje til å gi maksimal innsats har vært uunnværlig og prosjektet hadde ikke vært mulig og gjennomføre uten deres innsatts.

*Jon Åsbjørn Hauge*

Sarpsborg, mai 2018

# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>7</b>
1.1 Problemstilling .....	7
<b>2. Teori</b> .....	<b>8</b>
2.1 Hvilke fysiologiske faktorer er bestemmende for prestasjon i landeveissykling .....	8
2.1.1 VO <sub>2</sub> maks.....	8
2.1.2 Utnyttelsesgrad .....	9
2.1.3 Energieffektivitet .....	9
2.1.4 Anaerob kapasitet .....	9
2.1.5 VO <sub>2</sub> kinetikk .....	9
2.2 Hvordan påvirker tråkkfrekvens fysiologiske faktorer .....	11
2.2.1 Mekanikken bak sykkeltråkket .....	11
2.2.2 Hvordan påvirker tråkkfrekvens energieffektivitet.....	12
2.2.3 Påvirker tråkkfrekvens VO <sub>2</sub> maks?.....	14
2.2.4 Hvordan påvirker tråkkfrekvens prestasjon .....	15
2.2.5 VO <sub>2</sub> kinetikk og tråkkfrekvens .....	16
<b>3. Metode</b> .....	<b>17</b>
3.1 Forsøkspersoner .....	17
3.2 Eksperimentelt design .....	17
3.3 Utstyr og kalibrering .....	18
3.4 Tester.....	19
3.4.1 Målinger på submaksimale belastninger.....	19
3.4.2 Måling av VO <sub>2</sub> maks .....	19
3.4.3 Supramaksimale belastningsdrag og TTU .....	19
3.4.4 Beregning av 105% av MAP .....	23
3.5 Databehandling .....	23
3.6 Statistikk .....	24
<b>4. Resultater</b> .....	<b>25</b>
4.1 Submaksimale belastninger .....	25
4.2 Supramaksimal belastning .....	27

4.2.1	VO <sub>2</sub> .....	27
4.2.2	Oksygenunderskudd .....	28
4.2.3	Laktat .....	28
<b>5.</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>32</b>
5.1	Arbeidsøkonomi ved submaksimale belastninger .....	32
5.2	Energikostnad ved ulike ytre belastninger .....	33
5.3	Tråkkteknikk .....	34
5.4	Akkumulert VO <sub>2</sub> ved 105% av MAP .....	36
5.5	Prestasjon .....	37
<b>6.</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>40</b>
	<b>Referanser.....</b>	<b>41</b>
	<b>Tabelloversikt .....</b>	<b>45</b>
	<b>Figuroversikt.....</b>	<b>46</b>
	<b>Forkortelser og akronymer .....</b>	<b>48</b>
	<b>Vedlegg 1 .....</b>	<b>50</b>

# 1. Innledning

I utholdenhetsidrett er det mange fysiologiske faktorer som påvirker prestasjon. De viktigste av disse er det maksimale oksygen opptaket ( $VO_2$ maks), utnyttelsesgrad av  $VO_2$ maks over tid og energieffektivitet (Joyner & Coyle, 2008). I sykling er tråkkfrekvens en faktor som mange mener kan påvirke prestasjonen spesielt gjennom bedre energieffektivitet (Coast, Cox, & Welch, 1986). Flere studier viser at den mest energieffektive tråkkfrekvensen ligger rundt 60 tråkk per minutt (RPM) ved lavere belastninger <200 watt (Chavarren & Calbet, 1999; Marsh & Martin, 1993). Denne tråkkfrekvensen er imidlertid mye lavere enn det som normalt blir brukt av elitesyklister og dette har ført til spørsmål om hvorfor elitesyklister velger så høye tråkkfrekvenser (Chavarren & Calbet, 1999; Hagberg, Mullin, Giese, & Spitznagel, 1981; Marsh & Martin, 1993). Studier har imidlertid vist at den mest energieffektive tråkkfrekvensen øker ved økende belastninger og at dette også samsvarer bra med prestasjon på lengre prestasjonstester rundt 30 min (Coast & Welch, 1985; Foss & Hallen, 2004, 2005). Det er allikevel ikke studert hvordan tråkkfrekvens påvirker energiomsetning og prestasjon ved belastninger på eller over maksimal aerob effekt (MAP).

Vi ønsket derfor å undersøke hvordan tråkkfrekvens påvirker energiomsetning og prestasjon ved belastninger over MAP, samt undersøke hvordan tråkkfrekvens påvirker energiomsetning ved submaksimale belastninger, og hvordan forskjeller i energiomsetning utvikler seg fra lave til moderate submaksimale belastninger. Forsøkspersonene gjennomførte derfor tester ved flere submaksimale belastninger og én supramaksimal belastning ved to forskjellige tråkkfrekvenser.

## 1.1 *Problemstilling*

- Er det forskjell i oksygenopptak og prestasjon mellom 80 og 100 RPM ved belastninger over maksimal aerob effekt hos elitesyklister?
- Er det forskjeller i arbeidsøkonomi mellom 80 og 100 RPM ved ulike submaksimale belastninger?

## 2. Teori

### 2.1 *Hvilke fysiologiske faktorer er bestemmende for prestasjon i landeveissykling*

De viktigste fysiologiske faktorene som er bestemmende for prestasjon i landeveissykling er i likhet med andre utholdenhetsidretter  $VO_2$ maks, utnyttelsesgraden av  $VO_2$ maks ved arbeid over lengre tid og energieffektiviteten (Joyner & Coyle, 2008). I landeveissykling er den anaerobe energifrigjøringen, samt evnen til raskt å tilpasse seg nye belastninger også viktig faktor. Da det kan være store variasjoner i intensitet i løpet av en konkurranse, på grunn av taktiske disposisjoner og ytre påvirkende faktorer som endringer i terreng, værforhold og veityper (Faria, Parker, & Faria, 2005).

#### 2.1.1 $VO_2$ maks

$VO_2$ maks er betegnelsen på den maksimale mengden oksygen ( $O_2$ ) som kroppen kan ta opp og omsette til energi gjennom det aerobe energisystemet, og kan beskrives med Fick's ligning (Bassett & Howley, 2000; Hallén, 2002a):

$$VO_2\text{maks} = MV_{\text{maks}} \cdot a\text{-}vO_2\text{diff}_{\text{maks}}$$

$VO_2$ maks bestemmes av produktet av hjertets maksimale minuttvolum ( $MV_{\text{maks}}$ ) og den maksimale forskjellen i  $O_2$  metning mellom arterielt og venøst blod ( $a\text{-}vO_2\text{diff}_{\text{maks}}$ ). Den maksimale hjertefrekvensen (HR) og det maksimale slagvolumet (SV) til hjertet bestemmer  $MV_{\text{maks}}$ . Bestemmende faktorer for  $a\text{-}vO_2\text{diff}_{\text{maks}}$  er hemoglobin konsentrasjonen i blodet,  $O_2$  metningen av blodet som oppnås i alveolene og mengden  $O_2$  musklene klarer å ta opp fra blodet (Bassett & Howley, 2000; Hallén, 2002a). Faktorene som hovedsakelig er begrensende for  $VO_2$ maks er  $MV_{\text{maks}}$  og hemoglobin konsentrasjonen i blodet, dog kan også  $O_2$  metningen av arterielt blod som oppnås i alveolene være en begrensende faktor for godt trente personer (Bassett & Howley, 2000; Hallén, 2002a). Den faktoren som kan gi størst økning av  $VO_2$ maks ved utholdenhetstrening er  $MV_{\text{maks}}$  gjennom økt SV, og forskjeller mellom utrente og trente personer kan hovedsakelig knyttes til forskjeller i SV (Bassett & Howley, 2000; Hallén, 2002a).



### **2.1.2 Utnyttelsesgrad**

Utnyttelsesgrad kan defineres som andelen av  $\text{VO}_2$ maks (%  $\text{VO}_2$ maks) som kroppen klarer og benytte seg av over en gitt tidsperiode eller distanse (Hallén, 2002b). Ved aktiviteter med varighet >10 min klarer ikke kroppen og opprettholde full utnyttelse av  $\text{VO}_2$ maks, dermed blir kombinasjonen av  $\text{VO}_2$ maks og %  $\text{VO}_2$ maks bestemmende for mengden  $\text{O}_2$  som kan tas opp og omsettes til energi under aktiviteten (Hallén, 2002b). Lokale muskulære faktorer ser ut til å være bestemmende for utnyttelsesgraden (Hallén, 2002a; Joyner & Coyle, 2008). Dog er det fortsatt uklart hvilke faktorer som er bestemmende for %  $\text{VO}_2$ maks en utøver kan opprettholde over en gitt tidsperiode, men det er mye som tyder på at kapillærtetthet og oksidativ kapasitet i muskulaturen kan være viktig bestemmende faktorer (Hallén, 2002a; Joyner & Coyle, 2008).

### **2.1.3 Energieffektivitet**

Energieffektivitet er et mål på hvor mye av energien som blir frigjort ved aerob energiomsetning som blir overført til mekanisk energi og gir fremdrift ved et arbeid (Hallén, 2002b). I sykling er normalt energieffektiviteten mellom 19-23%, det vil si at mellom 19-23% av den frigjorte energien ender opp med å gi mekanisk fremdrift (Hallén, 2002b). Muskelfiber sammensetning er en viktig faktor for energieffektivitet ved sykling, og en høy andel av type 1 muskelfibre er knyttet til høyere energieffektivitet (Coyle, Sidossis, Horowitz, & Beltz, 1992).

### **2.1.4 Anaerob kapasitet**

Anaerob kapasitet kan defineres som det maksimale  $\text{O}_2$  underskudd kroppen kan generere før utmattelse (Hallén, 2002b). Ved maksimalt arbeid vil den anaerobe kapasiteten øke ved arbeid med varigheter opptil 2 min. Ved aktivitet med lenger varigheten enn dette vil den anaerobe kapasiteten ikke bli større, men bli fordelt over en lengre tidsperiode (Hallén, 2002b). Den anaerobe kapasiteten bestemmes av mengden kreatinfosfat (CP) som kan omdannes til adenosintrifosfat (ATP) i muskelcellene, og mengden  $\text{H}^+$  -ioner som kan bufferes i muskelcellene og blodet (Hallén, 2002a).

### **2.1.5 $\text{VO}_2$ kinetikk**

$\text{VO}_2$  kinetikk beskriver hvor raskt  $\text{VO}_2$  opptaket øker ved overgang fra en lav til en moderat eller høy belastning.  $\text{VO}_2$  kinetikk er derfor viktig for prestasjon da en rask tilpasning til en høyere belastning vil gi et mindre  $\text{VO}_2$  underskudd og bruke mindre av

den anaerobe kapasiteten. Tidskomponenten ( $\tau$ ) brukes til å beskrive hvor raskt  $VO_2$  opptaket stiger og representerer 63% av  $VO_2$  økingen fra baseline til steady state oppnås (amplituden) ved en belastnings økning. Generelt er  $4\tau$  ansett å tilsvare tiden for hele  $VO_2$  responsen (Poole & Jones, 2005).

En overgang fra en lav til en moderat belastning kan deles inn i to faser, hvor Phase I representerer den første raske  $VO_2$  økingen etter økning av belastningen, etter Phase I skjer det en rask eksponentiell øking av  $VO_2$  frem til steady state oppnås som defineres som Phase II (“primary component”). Dette kan beskrives av ligningen under (Poole & Jones, 2005):

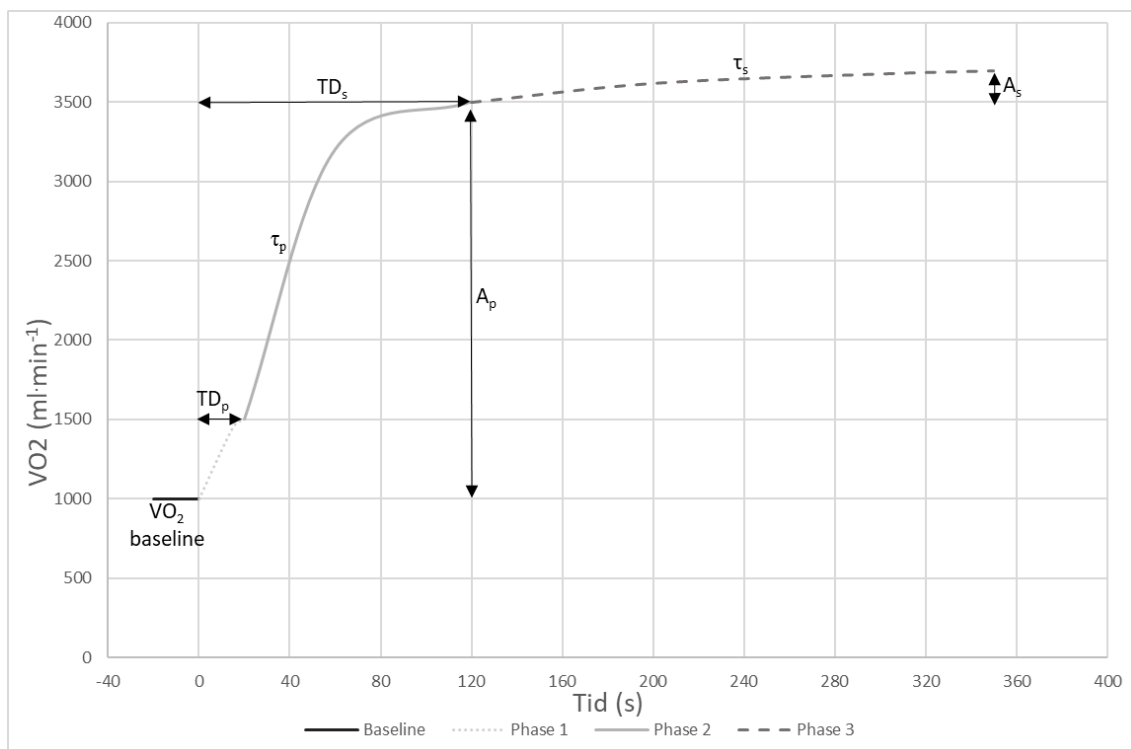
$$VO_2(t) = VO_2(b) + A (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

$VO_2(t)$  representerer  $VO_2$  ved et gitt tidspunkt,  $VO_2(b)$  er baseline  $VO_2$  før økingen av belastningen,  $A$  er amplituden på  $VO_2$  responsen fra baseline til steady state og  $(1 - e^{-(t-TD)/\tau})$  er den eksponentiale funksjonen som beskriver hvor raskt  $VO_2$  øker mot steady state. I denne funksjonen representerer  $t$  tid,  $TD$  er tidsforsinkelsen fra belastningen økes til den eksponentielle  $VO_2$  økingen starter og  $\tau$  er tidskonstanten (Poole & Jones, 2005).

Ved overgang til, eller ved en høy belastning må det legges til en ekstra fase, Phase III (“slow component”) som representerer  $VO_2$  økingen etter steady state oppnås til aktiviteten avsluttes eller belastningen reduseres. Dette kan beskrives av ligningen under (Poole & Jones, 2005):

$$VO_2(t) = VO_2(b) + A_p (1 - e^{-(tp-TD_p)/\tau_p}) + A_s (1 - e^{-(ts-TD_s)/\tau_s})$$

$A_p$  og  $A_s$  representerer amplitudene for henholdsvis “primary-” og “slow-components”,  $TD_p$  og  $TD_s$  representerer tidsforsinkelsen fram til starten av henholdsvis “primary-” og “slow-components” og  $\tau_p$  og  $\tau_s$  representerer tidskomponentene for henholdsvis “primary-” og “slow-components” (Figur 2.1) (Poole & Jones, 2005).



**Figur 2.1:** Illustrasjon av de forskjellige fasene ved beregning av  $VO_2$  kinetikk: Baseline, Phase I, Phase II (“primary component”) og Phase III (“slow component”).  $A_p$ ; amplitude for “primary component”,  $A_s$ ; amplitude for “slow component”,  $TD_p$ ; tidsforsinkelse for “primary component”,  $TD_s$ ; tidsforsinkelse for “slow component”,  $\tau_p$ ; tidskomponent for “primary component”,  $\tau_s$ ; tidskomponent for “slow component”. Basert på informasjon fra Poole and Jones (2005) og Burnley, Jones, Carter, and Doust (2000).

## 2.2 Hvordan påvirker tråkkfrekvens fysiologiske faktorer

### 2.2.1 Mekanikken bak sykkeltråkket

Effekten ( $P$ ) som produseres under sykkeltråkket bestemmes av dreiemomentet ( $\tau$ ) og vinkelenerigshastigheten ( $\omega$ ) som dreiemomentet utvikles ved (Lönnelid & Norberg, 1993). Videre bestemmes dreiemomentet av lengden på kraftarmen ( $r$ ) og kraften ( $F$ ) som virker på kraftarmen, mens vinkelendringshastigheten bestemmes av antall rotasjoner ( $d\theta$ ) i løpet av en gitt tidsperiode ( $dt$ ) (Lönnelid & Norberg, 1993). Videre bestemmes pedalhastigheten ( $v$ ) av vinkelendringshastigheten og lengden på kraftarmen (Lönnelid & Norberg, 1993):

$$P = \tau \cdot \omega \quad \tau = r \times F \quad \omega = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi \frac{RPM}{60 s} \quad v = \omega \times r$$

Dette viser dermed at ved en fast lengde på kraftarmen (krank-arm) er det kraften og tråkkfrekvensen som bestemmer effekten som produseres, samt at

forkortningshastigheten til de arbeidene musklene bestemmes av tråkkfrekvensen. Ved en fast belastning vil dermed en økning i tråkkfrekvens gi en reduksjon i kraften som trengs, men vil kreve en raskere forkortningshastighet for musklene ved samme krank-arm lengde.

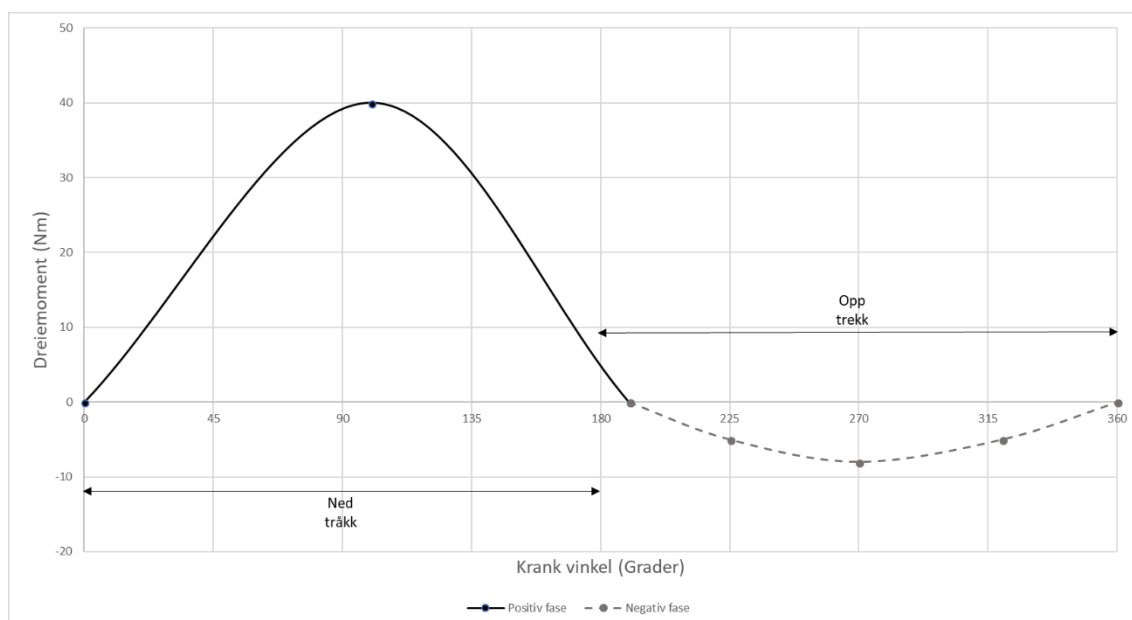
### **2.2.2 Hvordan påvirker tråkkfrekvens energieffektivitet**

Energiforbruket til de arbeidene muskelen bestemmes i hovedsak av mengden muskelmasse som aktiveres og muskelfibertype sammensetningen til disse musklene (Ansley & Cangle, 2009). Muskelfibrene kan deles inn i tre hovedtyper av muskelfiber type 1, type 2a og type 2x. Disse kan videre deles inn i to undergrupper; "Slowtwitch" (ST) for type 1 muskelfiber og "Fasttwitch" (FT) for type 2a og 2x muskelfiber (Ansley & Cangle, 2009). ST muskelfiber er generelt mer energieffektive enn FT muskelfiber og best tilpasset å generere lav kraft ved lavere forkortningshastigheter og har stor motstandsdyktighet mot utmattelse. FT muskelfiber er mindre energieffektive og er best tilpasset å generere høy kraft ved raskere forkortningshastigheter og har mindre motstandsdyktighet mot utmattelse enn ST muskelfiber (Ansley & Cangle, 2009). Under utholdenhetsarbeid rekrutteres muskelfibrene i rekkefølge av evnen til å generere kraft (henholdsvis type 1, type 2a og type 2x) slik at fiberne som er mest utholdende rekrutteres først. Etter hvert som kraften øker, eller muskelfibrene som alt er rekruttert blir utmattet, rekrutteres gradvis flere muskelfibere (Ansley & Cangle, 2009).

Tråkkfrekvens påvirker energieffektiviteten ved at den er bestemmende for forkortningshastigheten musklene arbeider på ved sykling. A. V. Hill (1938) utviklet en modell som viste at den maksimale kraften muskelen kan utvikle blir mindre jo raskere forkortningshastighet musklene arbeider på. A. V. Hill (1938) viste også at den maksimale effekten musklene kan produsere utvikles ved ~30% av maksimal isometrisk kraft. Det blir dermed en balanse mellom utvikling av kraft og forkortningshastigheten til musklene for optimal utvikling av effekt. Ut i fra modellene i studien til Sargeant (1994) har ST muskelfiber optimale forhold for å generere effekt ved ~60 RPM, og klarer der å produsere ~25% av den maksimale effekten ST og FT muskelfibrene til sammen klarer å generere ved kombinert optimal forkortningshastighet (~120 RPM). Ved tråkkfrekvenser eller belastninger over 60 RPM og 25% av maksimal effekt vil det dermed kreves bidrag av FT muskelfibre for å dekke arbeidskravet, andelen av FT muskelfiber som rekrutteres blir større jo høyere belastning og tråkkfrekvensen blir.

Dog er disse modellene basert på flere antagelser og ikke nødvendigvis riktige, men de gir et godt innblikk hvordan tråkkfrekvens kan påvirke aktiveringen mellom ST og FT muskelfiber (Sargeant, 1994).

Tråkkfrekvens påvirker også energieffektiviteten gjennom den mekaniske effektiviteten i sykkeltråkket. Studier av Sanderson, Hennig, and Black (2000) og Rossato, Bini, Carpes, Diefenthaler, and Moro (2008) har vist at en høyere tråkkfrekvens gir en økt negativ kraft i den negative fasen av sykkeltråkket. Dette vil dermed kreve en større positiv kraftutvikling for å kompensere for dette, noe som dermed reduserer den mekaniske effektiviteten (Figur 2.2).



**Figur 2.2:** Illustrasjon av de forskjellige fasene i sykkeltråkket: Positiv fase (positiv kraftutvikling), Negativ fase (negativ kraftutvikling). Ned tråkk; kraftutvikling med tyngdekraften (0-179°), Opp trekk; kraftutvikling mot tyngdekraften (180-359°). Basert på informasjon fra Sanderson et al. (2000), Rossato et al. (2008) og Korff, Romer, Mayhew, and Martin (2007).

Studier som har undersøkt effekten tråkkfrekvens har på energieffektivitet har generelt funnet at 60 RPM er mest energieffektivt og fører til lavest  $VO_2$  forbruk ved belastning under 200 watt (Chavarren & Calbet, 1999; Foss & Hallen, 2004; Gaesser & Brooks, 1975). Ved enda lavere belastning enn dette (<50 watt) så er det sannsynlig at også enda lavere tråkkfrekvenser vil være mer energieffektive da selve bevegelsen av beina kan tilskrives en større del av energikravet (Foss & Hallen, 2004). Coast and Welch (1985) viste at den mest energieffektive tråkkfrekvensen øker ved økning i belastning ved å

gjøre målinger av  $VO_2$  ved forskjellige tråkkfrekvenser (40, 60, 80, 100 og 120 RPM) og belastninger (100, 150, 200, 250 og 300 watt).  $VO_2$  målingene ble brukt til å modellere en "Curve of best fit" for hver av belastningene. Disse kurvene hadde en parabolisk form hvor det lavest punktet viste optimal tråkkfrekvens. Ved bruk av linjer regresjon ble det funnet et linjert forhold med signifikant korrelasjon der den optimale tråkkfrekvensen økte med belastningen. Støttende til studien av Coast and Welch (1985) viste MacIntosh, Neptune, and Horton (2000) at tråkkfrekvensen som gir lavest EMG aktivering også øker ved økende belastning. MacIntosh et al. (2000) gjorde måling av EMG ved flere belastninger (100, 200, 300 og 400 watt) og tråkkfrekvenser (50, 60, 80, 100 og 120 RPM) og viste at tråkkfrekvensen som ga lavest EMG aktivering økte fra 57 RPM ved 100 watt, til 99 RPM ved 400 watt. Foss and Hallen (2004) var først til å vise at den mest energieffektive tråkkfrekvensen øker ved økning i belastning ved direkte målinger, med en overgang fra 60 RPM som mest energieffektivt ved belastninger tilsvarende eller mindre enn 125 watt, til 80 RPM som mest energieffektivt ved 350 watt. Foss and Hallen (2004) gjorde målinger ved 0, 50, 125, 200, 275 og 350 watt og 60, 80, 100 og 120 RPM. Ved 350 watt fant Foss and Hallen (2004) i likhet med Coast and Welch (1985) et parabolisk forhold for  $VO_2$  mellom tråkkfrekvensene med lavere  $VO_2$  for 80 RPM med henholdsvis 1,6%, 2,9% og 9,6% mot 60, 100 og 120 RPM. Sammen viser funnene til Coast and Welch (1985) og Foss and Hallen (2004) at den mest energieffektive tråkkfrekvensen øker ved økning i belastning, og at det er et parabolisk forhold mellom tråkkfrekvensene ved en gitt belastning. Dette viser at det er liten forskjell i energieffektivitet nær den optimale tråkkfrekvensen, men også at forskjell i energieffektivitet blir større desto lenger vekk fra optimal tråkkfrekvens man sykler.

### **2.2.3 Påvirker tråkkfrekvens $VO_2$ maks?**

Flere av studiene som har undersøkt hvilken betydning tråkkfrekvens har på  $VO_2$ maks har funnet ulike resultater (Coast & Welch, 1985; Hermansen & Saltin, 1969; McKay & Banister, 1976). Hermansen and Saltin (1969) fant i sin studie høyest  $VO_2$ maks ved 60-70 RPM, mens Coast and Welch (1985) fant høyest  $VO_2$ maks ved 80 RPM og McKay and Banister (1976) fant høyest  $VO_2$ maks ved 80-100 RPM. Imidlertid var forskjellene i  $VO_2$ maks mellom tråkkfrekvensene i disse studiene relativt små. Det er også studier som ikke har funnet noen forskjell i  $VO_2$ maks mellom forskjellige tråkkfrekvenser (Foss & Hallen, 2004; Woolford et al., 1999; Zoladz, Rademaker, & Sargeant, 2000).

Felles for de tre siste studiene er at forsøkspersonen har vært veldig godt trent eller elite syklist med høy aerob kapasitet ( $VO_2\text{maks} > \sim 70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Samlet tyder disse studiene på at tråkkfrekvens har liten betydning for oppnådd  $VO_2\text{maks}$ , i hvert fall for godt trente personer.

#### **2.2.4 Hvordan påvirker tråkkfrekvens prestasjon**

Studier som har undersøkt effekten av ulike tråkkfrekvenser på prestasjonstester med varighet  $> 10$  min viser at energieffektivitet i hovedsak ser ut til å være bestemmende for forskjellene i prestasjon (Foss & Hallen, 2005; Watson & Swensen, 2006). I studien til Watson and Swensen (2006) gjennomførte godt trente syklisttempotester ( $\sim 750$  s og  $\sim 280$ - $300$  watt) ved selvvalgt tråkkfrekvens (PC: 92 RPM), lav tråkkfrekvens (LC: PC-10% = 83 RPM) og høy tråkkfrekvens (HC: PC+10% = 101 RPM). Det ble funnet høyere gjennomsnittlig belastning for LC og PC mot HC, dette samsvarte også med målinger for energieffektivitet hvor de fant bedre energieffektivitet for LC og PC mot HC. I studien til Foss and Hallen (2005) ble det gjort 2 forsøk (Exp. 1 og Exp. 2) hvor elitesyklistene gjennomførte tempotester ( $\sim 28$  min og  $\sim 310$ - $350$  watt) ved forskjellige tråkkfrekvenser. I Exp. 1 ble det funnet bedre prestasjon for 80, FCC (Selvvalgt tråkkfrekvens: Gjennomsnitt = 90 RPM) og 100 RPM mot 60 og 120 RPM med henholdsvis 3% og 10%, mens det i Exp. 2 ble funnet bedre prestasjon for 80 mot 100 RPM med 1,7%. I Exp. 1 ble det funnet bedre energieffektivitet for 80 mot 60, FCC, 100 og 120 RPM med henholdsvis 2,9%, 2,3%, 2,7% og 12,3% og i Exp. 2 ble det funnet 3,4% bedre energieffektivitet for 80 mot 100 RPM. I Exp. 2 fant de imidlertid 1,8% høyere gjennomsnittlig  $VO_2$  for 100 RPM. Dette tyder på at forsøkspersonene klarte å opprettholde en høyere % av  $VO_2\text{maks}$  og dermed delvis kompenserte for en lavere energieffektivitet kontra 80 RPM. I Exp. 1 ble det ikke funnet noen forskjell i gjennomsnittlig  $VO_2$  mellom tråkkfrekvensene. Imidlertid nevner Foss and Hallen (2005) i diskusjonen at forsøkspersonene i Exp. 1, tenderte til bedre prestasjon på en TTU test etter studien og sannsynligvis fikk en økt prestasjons evne i løpet av forsøket. Dette kan muligens ha maskert eventuelle forskjeller mellom tråkkfrekvensene. Studien til Foss and Hallen (2005) og Watson and Swensen (2006) viser god sammenheng mellom forskjeller i prestasjon og energieffektivitet, men studien til Foss and Hallen (2005) kan indikere at høyere tråkkfrekvenser muligens delvis kan

kompensere for dårligere energieffektivitet ved et høyere gjennomsnittlig VO<sub>2</sub> forbruk ved prestasjons tester av lang varighet.

Det er dessverre få studier som har undersøkt hvordan tråkkfrekvens påvirker prestasjon ved tester av kort varighet hvor den anaerobe kapasiteten spiller en større rolle. Det er allikevel sannsynlig at energieffektivitet har størst betydning i de fleste sammenhenger, da aerob energiomsetning gir størst energibidrag allerede ved maksimale tester med varighet over ~75 s (Gastin, 2001). Videre fant D. Hill and Vingren (2012) ingen forskjell i anaerob kapasitet mellom 60, 80 og 100 RPM for utrente forsøkspersoner. Dette kan dermed indikere at den anaerobe kapasiteten ikke har betydning for forskjeller i prestasjon mellom forskjellige tråkkfrekvenser. Imidlertid kreves mer forskning for å belyse dette.

### **2.2.5 VO<sub>2</sub> kinetikk og tråkkfrekvens**

Studier som har undersøkt om tråkkfrekvens påvirker VO<sub>2</sub> kinetikk for godt trente syklister, har ikke funnet noen forskjell for hvor raskt VO<sub>2</sub> øker ved overgang fra en lav til en høy belastning (Breese, Armstrong, Barker, & Williams, 2011; Vercruyssen, Missenard, & Brisswalter, 2009). I studien til Breese et al. (2011) fant de for godt trente junior syklister ingen forskjell i  $\tau$  for "primary component" mellom 50 og 115 RPM. De fant heller ingen forskjell i amplituder for "primary-" og "slow-components" eller forskjell i "End-exercise" VO<sub>2</sub> mellom 50 og 115 RPM. Vercruyssen et al. (2009) fant for godt trente syklister ingen forskjell mellom 50 og 110 RPM i  $\tau$  for hverken "primary-" og "slow-components", men de fant større amplituder for 110 mot 50 RPM både for "primary-" og "slow-components" og "End-exercise" VO<sub>2</sub>. Dette tyder dermed på at tråkkfrekvens ikke påvirker hvor raskt VO<sub>2</sub> øker ved overgang fra en lav til en høy belastning, men kan påvirke amplituden for overgangen.

Den metodiske framgangen til de tidligere studiene kan imidlertid ha påvirket resultatene, spesielt for forskjeller i amplituder mellom forskjellige tråkkfrekvenser, siden tråkkfrekvens i stor grad påvirker VO<sub>2</sub> kravet (Foss & Hallen, 2004). De har for eksempel benyttet ulike metoder for å bestemme både baseline og arbeidsbelastning, noe som gjør det utfordrende å forstå betydningen av tråkkfrekvens for VO<sub>2</sub> kinetikk.



## 3. Metode

### 3.1 Forsøkspersoner

Ti mannlige syklister på nasjonalt elitenivå med alder 18-37 år deltok i studiet. Inklusjonskriterier for Forsøkspersonene var  $VO_2$ maks  $>70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , total treningsmengde på mer enn 550 timer per år og ritt deltagelse på nasjonalt elitenivå (Tabell 3.1). Før testing fant sted var egenerklæring for helse og skriftlig informert samtykke underskrevet (vedlegg 1). Før prosjektstart ble Regionale komitéer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK) avdeling sør-øst informert om prosjektet og prosjektet ble vurdert til å være utenfor mandatet til REK (referansenummer: 2016/1671 A).

**Tabell 3.1:** Karakteristikk av forsøkspersoner ( $n=10$ )

Variabel	Snitt $\pm$ SD
Alder (år)	22,6 $\pm$ 5,5
Høyde (cm)	181,4 $\pm$ 3,1
Vekt (kg)	75,5 $\pm$ 5,3
$VO_2$ maks ( $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ )	5531 $\pm$ 393
$VO_2$ maks ( $\text{ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ )	73,3 $\pm$ 2,3
105% av MAP (watt)	448 $\pm$ 33
$W$ maks (watt/kg)	6,2 $\pm$ 0,3

Snitt; gjennomsnitt, SD; standardavvik.

### 3.2 Eksperimentelt design

Studien ble gjennomført over 2 dager hvor første dag ble brukt til å måle oksygenopptak på fire submaksimale belastninger (100, 175, 250, 325 watt) ved to forskjellige tråkkfrekvenser (80, 100 RPM), samt  $VO_2$ maks ved valgfri tråkkfrekvens. Rekkefølgen på tråkkfrekvensene ble "counterbalansert". På andre test dag ble akkumulert oksygenopptak målt ved 80 og 100 RPM under to test drag på 90 s á 105% av MAP. Siste 90 s ble etterfulgt av en tid til utmattelse (TTU) test. Dette ble først gjennomført på den ene tråkkfrekvensen og etter 60 min pause ble protokollen gjentatt på gjenværende tråkkfrekvens, rekkefølgen ble "counterbalansert". Alle forsøkspersonene brukte lik lengde på krank-armene ved alle testene (172,5mm).

### **3.3 Utstyr og kalibrering**

Alle tester ble gjennomført på en ergometersykkel (Lode Excalibur Sport; Lode B.V., Groningen, Nederland) som ble justert og tilpasset til den enkelte forsøkspersonens antropometri før testing. Innstillingene ble lagret og benyttet i videre testing av samme person.

Målinger av oksygenopptak ( $VO_2$ ), ventilasjon og pustefrekvens ble gjort ved bruk av et ergospirometrisystem med miksekammer (JAEGER Oxycon PRO<sup>TM</sup>; Carefusion GmbH, Hoechberg, Tyskland). Forsøkspersonene pustet gjennom et munnstykke med en treveis ventil (Hans Rudolph Inc., Shawnee, KS, USA) og det ble brukt neseklype (Hans Rudolph Inc., Shawnee, KS, USA) for å hindre luftstrøm gjennom nesen. Systemet ble kalibrert i henhold til produsentens anbefalinger før alle testene. Dette ble gjort ved å kalibrere gassanalysatoren mot romluft og en gass med kjente konsentrasjoner av oksygen (15%) og karbondioksid (6%). Systemets analysator for luftstrøm (Triple V; Carefusion GmbH, Hoechberg, Tyskland) ble kalibrert mot volum ved bruk av en manuell treliters håndpumpe (Calibration Syringe, series 5530; Hans Rudolph Inc., Shawnee, KS, USA). Systemet ble også kalibrert mot temperatur, lufttrykk og luftfuktighet. For å sikre likest mulige forhold mellom testene ble det stilt inn forsert romventilasjon og samme romtemperatur (20°C) 30 min før alle testene.

Laktat konsentrasjon i blod ble målt i kapillært blod ved fingerstikk og analysert ved bruk av en automatisert analysator (Biosen C-line, EKF Diagnostics, Cardiff, United Kingdom). Analysatoren ble kalibrert etter produsentens anbefalinger. Dette ble gjort ved å kalibrere analysatoren mot en veske med kjent laktatkonsentrasjon (12.0 mmol · L<sup>-1</sup>). Dette ble gjort ved oppstart av analysatoren og deretter hver time.

Målinger for HR ble gjort ved bruk av en sykkelcomputer (Garmin Edge 800, Garmin Ltd, Schaffhausen, Sveits) med tilhørende pulsband festet rundt forsøkspersonens bryst. Vekt ble målt ved oppmøte på første test dag (Seca 876, Seca GmbH, Hamburg, Tyskland).

### **3.4 Tester**

#### **3.4.1 Målinger på submaksimale belastninger**

Forsøkspersonene gjennomførte først en oppvarming på 10 min. Deretter ble det gjennomført åtte submaksimale drag á 5 min fordelt på fire forskjellige belastninger (100, 175, 250 og 325 watt) og to forskjellige tråkkfrekvenser (80 og 100 RPM) med 2 min pause mellom dragene. Det ble “counterbalansert” om forsøkspersonene startet med 80 eller 100 RPM ved første belastning, deretter ble samme rekkefølge fulgt på de gjenværende belastningene. Under dragene ble det målt  $VO_2$  med tidsoppløsning på 30 s fra 3-5 min. HR ble målt kontinuerlig under dragene og verdiene ble notert hvert 30 s mellom 3-5 min. Laktat ble målt etter 4:45 (min:ss) (Figur 3.1).

#### **3.4.2 Måling av $VO_2$ maks**

Etter de submaksimale belastningene hadde forsøkspersonene en pause på 10 min før  $VO_2$ maks testen ble gjennomført. Testen ble gjennomført med 25 watts belastningsøkning hvert min til utmattelse. Startbelastning ble vurdert fra de submaksimale dragene for å oppnå utmattelse mellom 6 til 10 min. Tråkkfrekvensen var selvvalgt under  $VO_2$ maks testen. Under testen ble det målt  $VO_2$  med en oppløsning på 30 s og høyeste gjennomsnittlige  $VO_2$  over 1 min ble satt som det maksimale oksygen opptaket ( $VO_2$ maks). HR ble målt kontinuerlig under hele testen og laktat 1 min etter utmattelse. Gjennomsnittlig belastning de siste 2 min ble satt som maksimal belastning ( $W_{maks}$ ) (Figur 3.1).

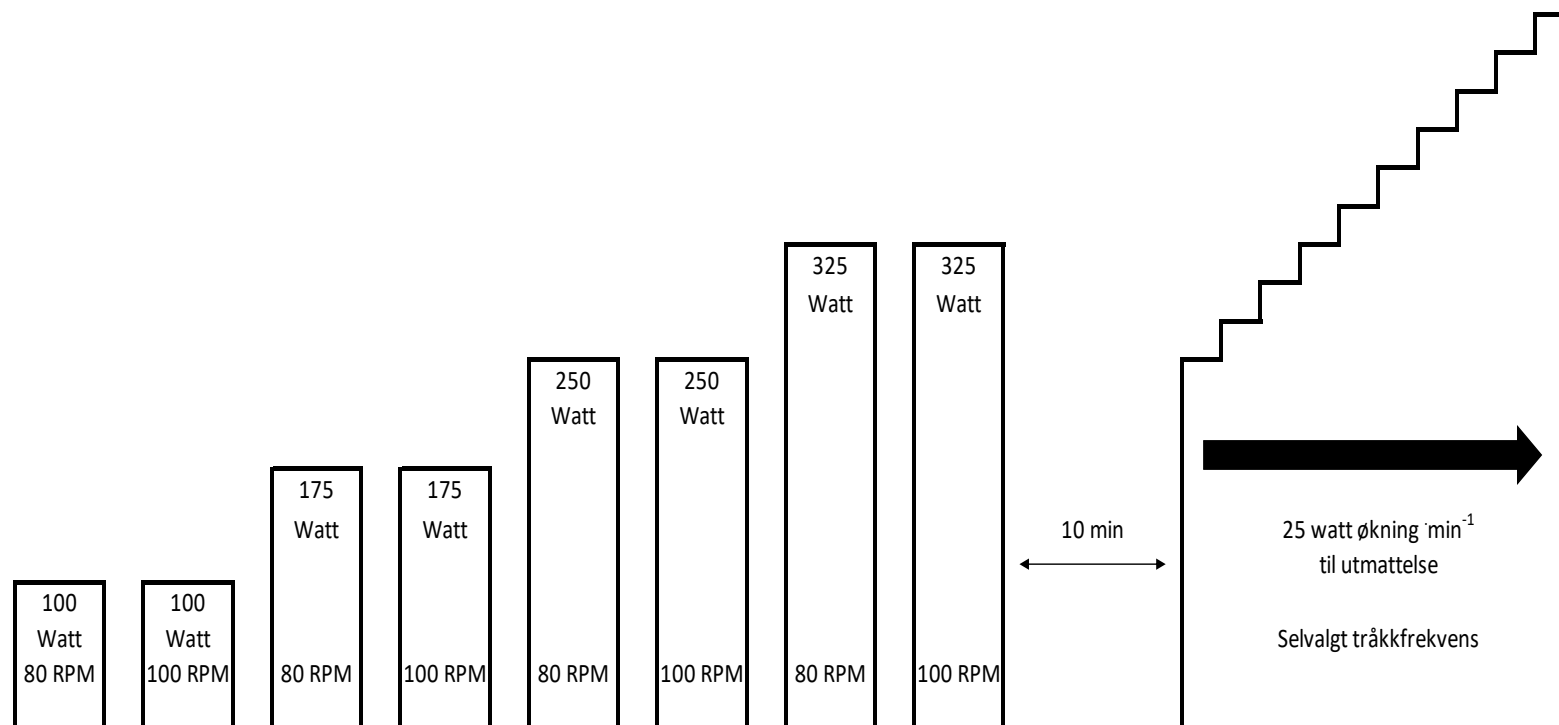
#### **3.4.3 Supramaksimale belastningsdrag og TTU**

Forsøkspersonene startet med å sykle 10,5 min på 150 watt før belastningen ble økt til 105% av MAP i 90 s (DRAG1). Deretter ble belastningen igjen redusert til 150 watt i nye 10,5 min før den igjen ble økt til 105% av MAP der forsøkspersonene gjennomførte ett nytt 90 s drag. Det andre draget inkluderte en tid til utmattelse test (TTU) der FP umiddelbart etter endt 90 s fortsatte å sykle til utmattelse på 105% MAP belastning (DRAG2). Tiden fra starten av andre drag til utmattelse er omtalt som TTU. Etter utmattelse syklet forsøkspersonene igjen på 150 watt i 5 min før pause. Det ble “counterbalansert” om forsøkspersonene startet med 80 eller 100 RPM. Etter 60 min pause gjennomførte forsøkspersonene protokollen med gjenværende tråkkfrekvens. På 150 watts belastningene syklet forsøkspersonene på 90 RPM med unntak av siste 2 min før 105% av MAP hvor de syklet på samme tråkkfrekvens som under 105% av MAP

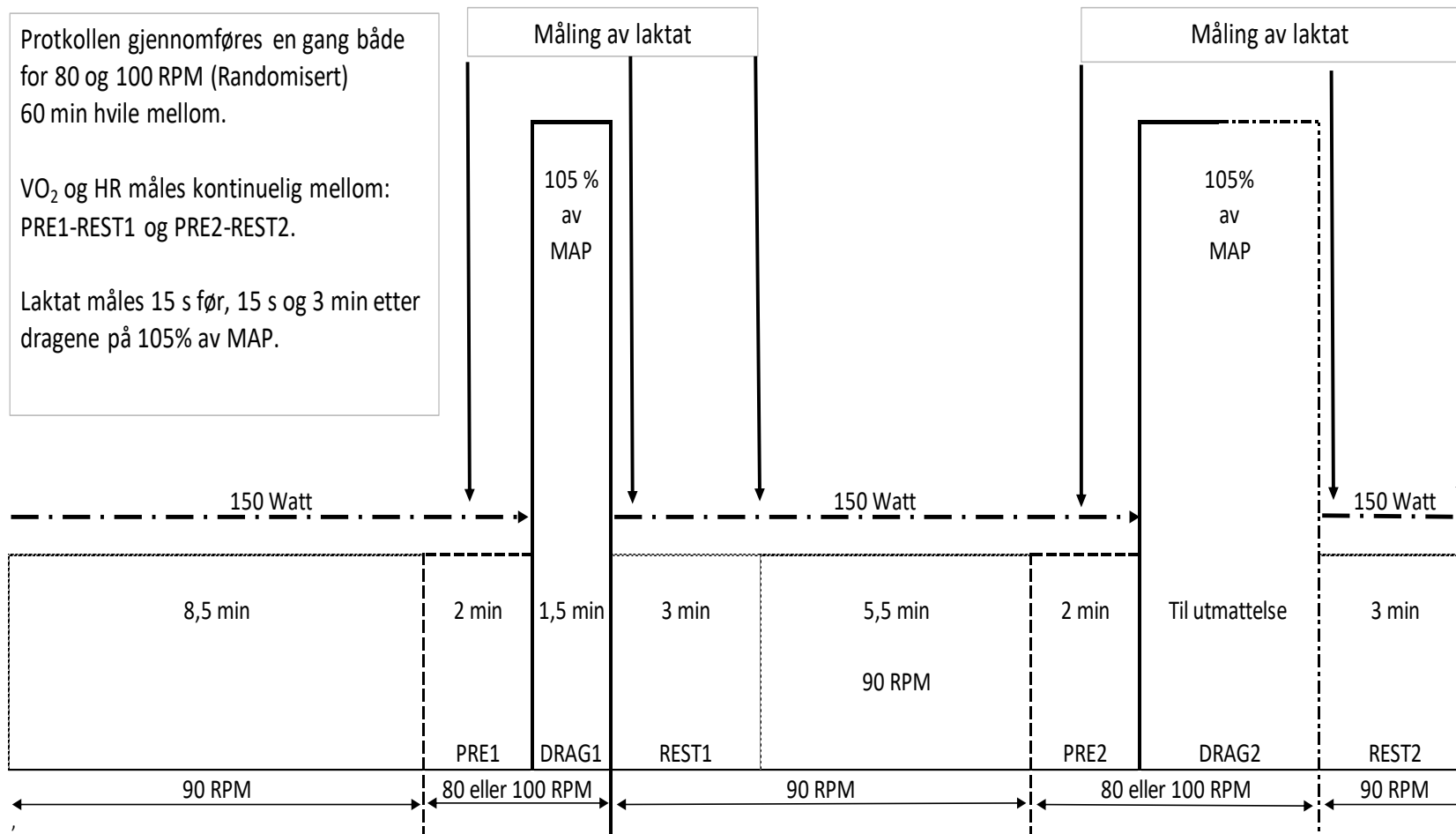
(80 eller 100 RPM). Siste 2 min før DRAG1 og DRAG2 ble henholdsvis definert som PRE1 og PRE2, mens første 3 min etter DRAG1 og DRAG2 ble definert som henholdsvis REST1 og REST2. Det ble gjort kontinuerlige målinger av  $VO_2$  fra 2 min før 105% av MAP dragene til 3 min etter dragene. Laktat fra fingerstikk ble målt 1 min før dragene, 15 s etter og 3 min etter dragene. Målinger for HR ble gjort kontinuerlig under hele testen (Figur 3.2).

5 min drag (2 min hvile)  
VO<sub>2</sub> og HR: 3:00-5:00  
Laktate: 4:45  
Randomisert rekkefølge

VO<sub>2</sub>max: Høyeste 1 min gjennomsnitt  
VO<sub>2</sub>: Måling hvert 30 s  
Wmax: Beste 2 min gjennomsnitt  
Laktat: 1 min etter utmattelse



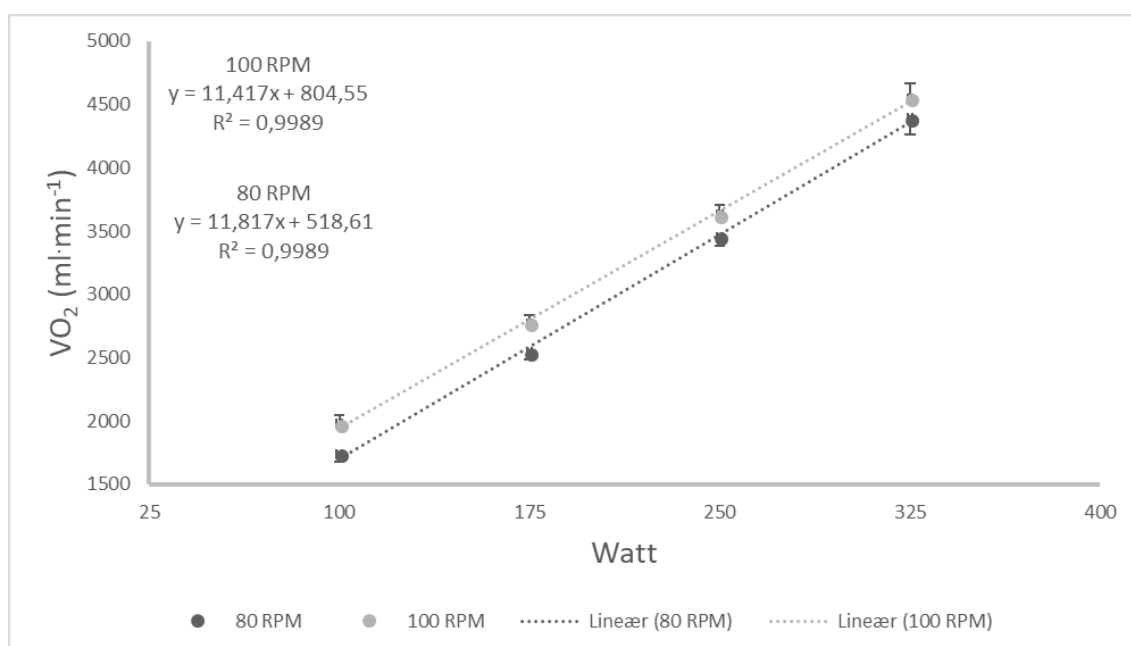
**Figur 3.1:** Protokoll for testing av submaksimale belastninger og VO<sub>2</sub>maks.



**Figur 3.2:** Protokoll for tester ved 105% av MAP

### 3.4.4 Beregning av 105% av MAP

For å beregne 105% av MAP ble de submaksimale målingene på 80 RPM satt inn i et xy-plott mellom oksygenopptak og belastning (Microsoft Office Excel 2016, Microsoft, Redmond, WA, USA). Det ble generert en rettlinjert trendlinje med ligning for å finne belastningen tilsvarende 105% av MAP ved å sette inn  $VO_2$ -verdien tilsvarende 105% av  $VO_2$ maks. Denne belastningen ble brukt for både 80 og 100 RPM på testene for å sikre lik ytre effekt. For å finne  $VO_2$  kravet til 100 RPM ved denne belastningen ble det laget et tilsvarende xy-plott også for 100 RPM, og utregnet belastning for 80 RPM ble satt inn i ligningen for trendlinjen til 100 RPM (Figur 3.3).



**Figur 3.3:** Ekstrapolering av  $VO_2$  krav ut i fra målinger på submaksimale belastninger (gjennomsnitt  $\pm$  SD).

### 3.5 Databehandling

På de submaksimale målingene ble det brukt gjennomsnitt over 2 min (4x30 s måleperioder) til å analysere forskjeller for alle variablene mellom 80 og 100 RPM. På de supramaksimale belastningene (105%) ble gjennomsnitt over 15 s benyttet for å øke tidsoppløsningen. Akkumulert  $VO_2$  under de supramaksimale dragene ble beregnet ved å summere  $VO_2$  fra tidsperioder på 15 s ved PRE og REST periodene, mens det for arbeidsperiodene (DRAG og DRAG2) ble summert fra perioder på 5 sek.

For to av forsøkspersonene ble noe av datamaterialet ikke inkludert i analysen. For den først av disse forsøkspersonene ble alt av materiale fra 90 s til utmattelse på DRAG2 og

REST2 både for 80 og 100 RPM ekskludert, da forsøkspersonen ikke lyktes med å nå utmattelse grunnet ubehag, dette ble støttet av laktatmålingene. For den andre av disse forsøkspersonene fant vi manglende målepunkter for  $VO_2$  ved starten av DRAG2 både for 80 og 100 RPM, vi valgte derfor å ekskludere data som inneholdt disse punktene i analysen.

### **3.6 Statistikk**

Parametriske metoder ble brukt til alle dataanalyser da dataene ble antatt å være normalfordelt ut i fra sentralgrenseteoremet (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Alle verdier er oppgitt i gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik (SD) hvis ikke annet er spesifisert. For å undersøke forskjeller mellom tråkkfrekvensene ble det bruk tosidig paret Student's t-test. Verdier for signifikans som ble brukt var: trend til signifikans ( $0,05 < p \leq 0,10$ ) signifikans ( $p < 0,05$ ). All databehandling og statistikk ble gjort i Microsoft Office Excel 2016.



## 4. Resultater

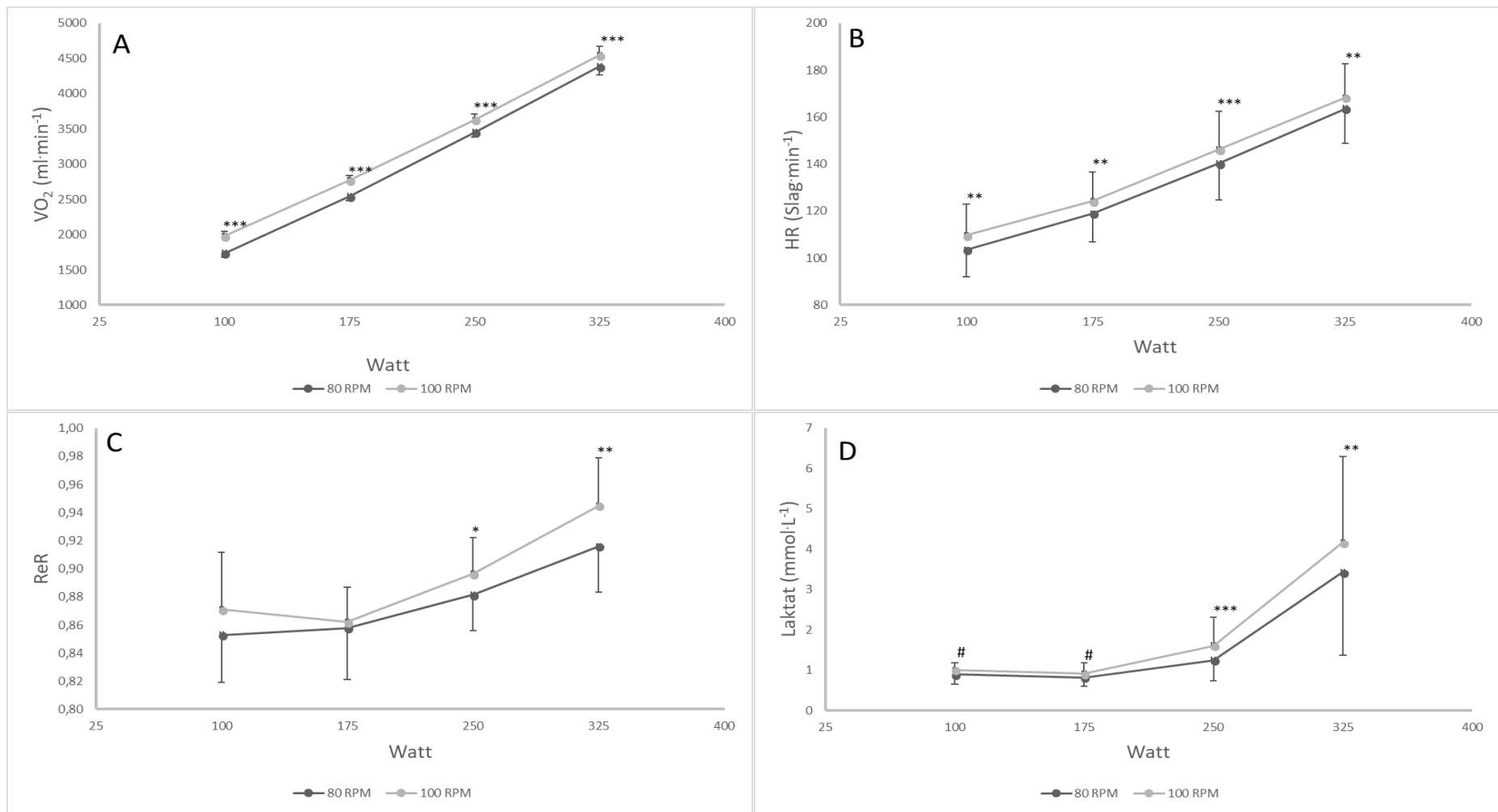
### 4.1 Submaksimale belastninger

Ved de submaksimale belastningene var  $\text{VO}_2$  høyere for 100 RPM i forhold til 80 RPM, henholdsvis  $13,9\% \pm 3,0\%$ ,  $9,0\% \pm 2,1\%$ ,  $5,1\% \pm 1,8\%$  og  $3,6\% \pm 1,8\%$  ved 100, 175, 250 og 325 watt ( $p < 0,001$ ) (Figur 4.1).

$\text{VO}_2$  økte  $3,3\% \pm 3,5\%$  mer med økende belastning ved 80 enn ved 100 RPM, henholdsvis med  $1,18 \pm 0,06$  og  $1,14 \pm 0,05$  liter per 100 watt økning i belastning.

HR var henholdsvis  $5,9\% \pm 4,8\%$ ,  $4,5\% \pm 3,7\%$ ,  $4,2\% \pm 2,4\%$  og  $2,9\% \pm 2,1\%$  høyere for 100 RPM i forhold til 80 RPM ved 100, 175, 250 og 325 watt ( $p < 0,01$ ) (Figur 4.1).

For laktat og ReR var det ikke signifikante forskjeller mellom 80 og 100 RPM ved de to laveste belastningene, men for begge variablene var høyere for 100 mot 80 RPM ved de to høyeste belastningene. (Figur 4.1).



**Figur 4.1:**  $VO_2$  (A), HR (B), ReR (C) og Laktat (D) ved 100, 175, 250 og 325 watt ved 80 og 100 RPM (gjennomsnitt  $\pm$  SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$  og \*\*\* =  $p < 0,001$ . Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # =  $0,05 < p \leq 0,10$ .

## 4.2 Supramaksimal belastning

Effekten ved de supramaksimale dragene (105% MAP) var  $448 \pm 33$  watt.  $VO_2$  krav for 80 og 100 RPM var henholdsvis  $5807 \pm 413 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$  og  $5922 \pm 451 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$  og dette tilsvarte henholdsvis  $105\% \pm 0,1\%$  og  $107\% \pm 1,9\%$  av  $VO_{2\text{maks}}$ . Dermed var  $VO_2$  kravet  $2,0\% \pm 1,8\%$  høyere for 100 mot 80 RPM ( $p < 0,01$ ).

På DRAG2 syklet forsøkspersonene til utmattelse. Tid til utmattelse var henholdsvis  $224 \pm 43$  og  $229 \pm 60$  s for 80 og 100 RPM og ikke signifikant forskjellig ( $3,8\% \pm 27\%$ ,  $p = 0,68$ ).

På de siste 60 s av DRAG2 ble det oppnådd akkumulert  $VO_2$  på henholdsvis  $5,48 \pm 0,41$  og  $5,50 \pm 0,39$  liter for 80 og 100 RPM ( $p = 0,57$ ). Dette tilsvart henholdsvis  $100,2\% \pm 2,4\%$  ( $p = 0,84$ ) og  $100,6\% \pm 2,0\%$  ( $p = 0,40$ ) av  $VO_{2\text{maks}}$  under trappetrinns-testene for 80 og 100 RPM.

### 4.2.1 $VO_2$

Før de supramaksimale dragene syklet forsøkspersonene 10,5 min (siste 2 min på 80 eller 100 RPM) på 150 watt og oksygenkravet var henholdsvis  $2,29 \pm 0,05$  og  $2,52 \pm 0,06$  liter  $O_2$  for 80 og 100 RPM og dermed  $9,9\% \pm 1,4\%$  ( $p < 0,001$ ) høyere for 100 RPM mot 80 RPM.

Ved DRAG1 var akkumulert  $VO_2$   $0,9\% \pm 1,8\%$  ( $p = 0,15$ ) ikke signifikant høyere for 100 mot 80 RPM, men  $VO_2$  var  $2,1\% \pm 1,9\%$  ( $p < 0,01$ ) høyere for 100 mot 80 RPM ved første 90 s av DRAG2 (Figur 4.2, 4.3 og 4.4).

Ved 0-30 s for både DRAG1 og 2 var akkumulert  $VO_2$  høyere for 100 mot 80 RPM med henholdsvis  $5,1\% \pm 4,6\%$  ( $p < 0,01$ ) og  $6,9\% \pm 4,9\%$  ( $p < 0,01$ ). Ved 30-90 s var det imidlertid ingen forskjell i akkumulert  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM hverken for DRAG1 ( $p = 0,55$ ) eller DRAG2 ( $p = 0,77$ ). Akkumulert  $VO_2$  fra 90 s til utmattelse for DRAG2 var ikke signifikant høyere for 100 mot 80 RPM med  $9,6\% \pm 48\%$  ( $p = 0,57$ ) (Figur 4.2, 4.3 og 4.4).

Akkumulert  $VO_2$  for hele DRAG2 var heller ikke signifikant høyere enn for 80 RPM (100 RPM  $102,1\% \pm 30\%$ ,  $p = 0,84$ ). For både REST1 og 2 var akkumulert  $VO_2$  ikke

signifikant lavere for 100 mot 80 RPM med henholdsvis  $1,0\% \pm 1,8\%$  ( $p=0,10$ ) og  $0,6\% \pm 2,3\%$  ( $p=0,47$ ), men akkumulert  $VO_2$  var imidlertid  $2,7\% \pm 1,2\%$  ( $p<0,001$ ) lavere for 100 mot 80 RPM ved 90-135 s for REST1 (Figur 4.2, 4.3 og 4.4).

Målingene for HR, ventilasjon og pustefrekvens fulgte i store trekk  $VO_2$  både ved DRAG1 (Figur 4.2) og DRAG2.

#### **4.2.2 Oksygenunderskudd**

Ved DRAG1 var akkumulert  $VO_2$  underskudd  $4,5\% \pm 5,8\%$  ( $p=0,04$ ) større for 100 mot 80 RPM (Figur 4.5).

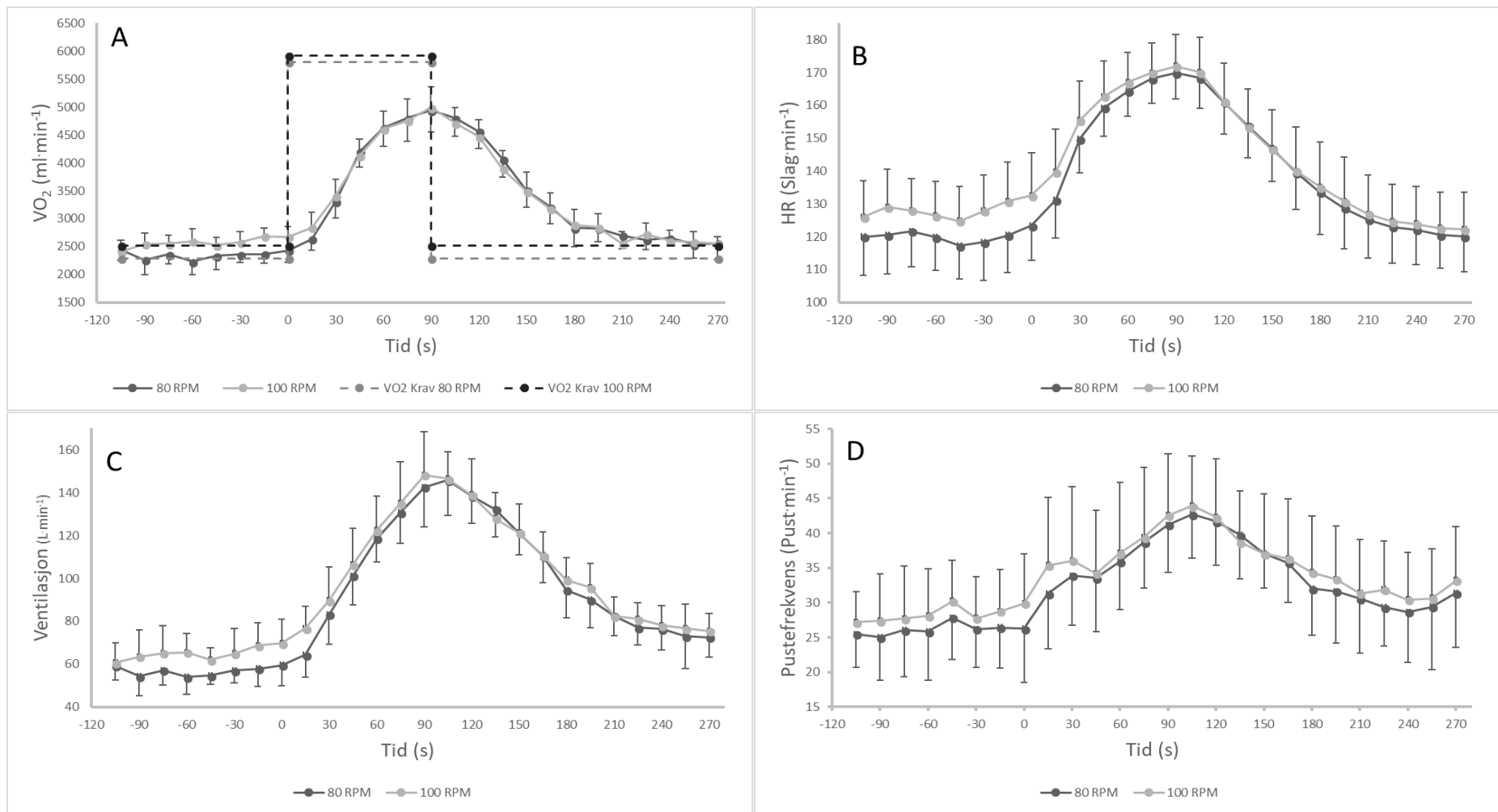
Oksygenunderskudd for DRAG2 0-90 s, DRAG2 fra 90 s til utmattelse og hele DRAG2 var henholdsvis  $1,2\% \pm 7,7\%$  ( $p=0,66$ ),  $36\% \pm 68,4\%$  ( $p=0,15$ ) og  $7,3\% \pm 18,7\%$  ( $p=0,31$ ) ikke signifikant høyere for 100 RPM mot 80 RPM (Figur 4.5).

#### **4.2.3 Laktat**

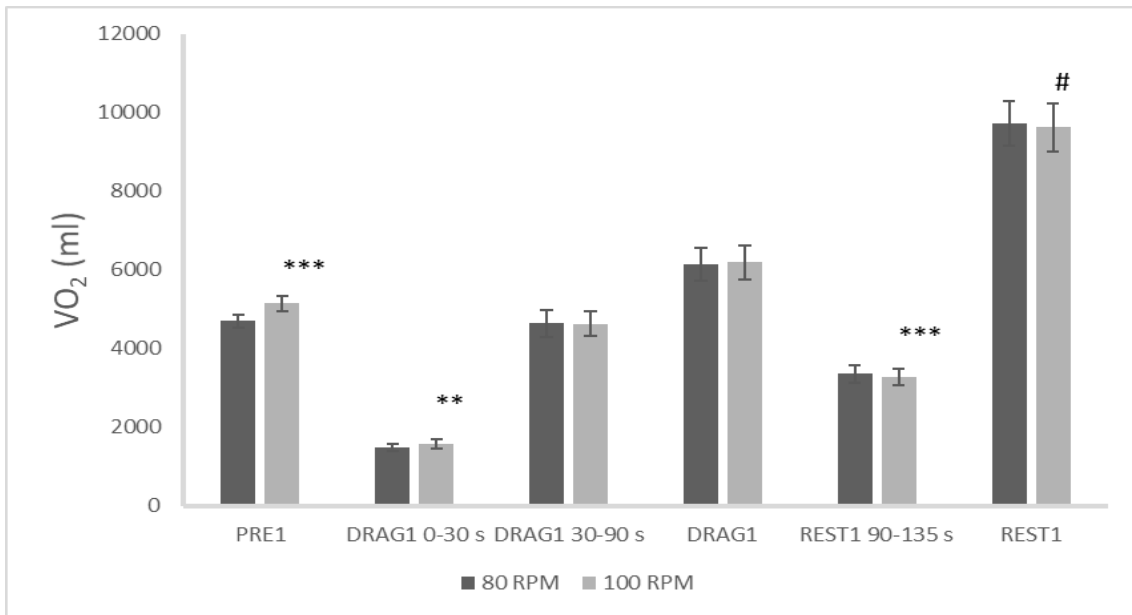
Det ble målt laktat 60 s før DRAG1, 15 s etter DRAG1 og 180 s etter DRAG1.

Laktatverdiene var henholdsvis  $19\% \pm 53\%$  ( $p=0,30$ ),  $7,1\% \pm 28\%$  ( $p=0,45$ ) og  $8,5\% \pm 12\%$  ( $p=0,052$ ) ikke signifikant høyere for 100 RPM mot 80 RPM (Figur 4.6).

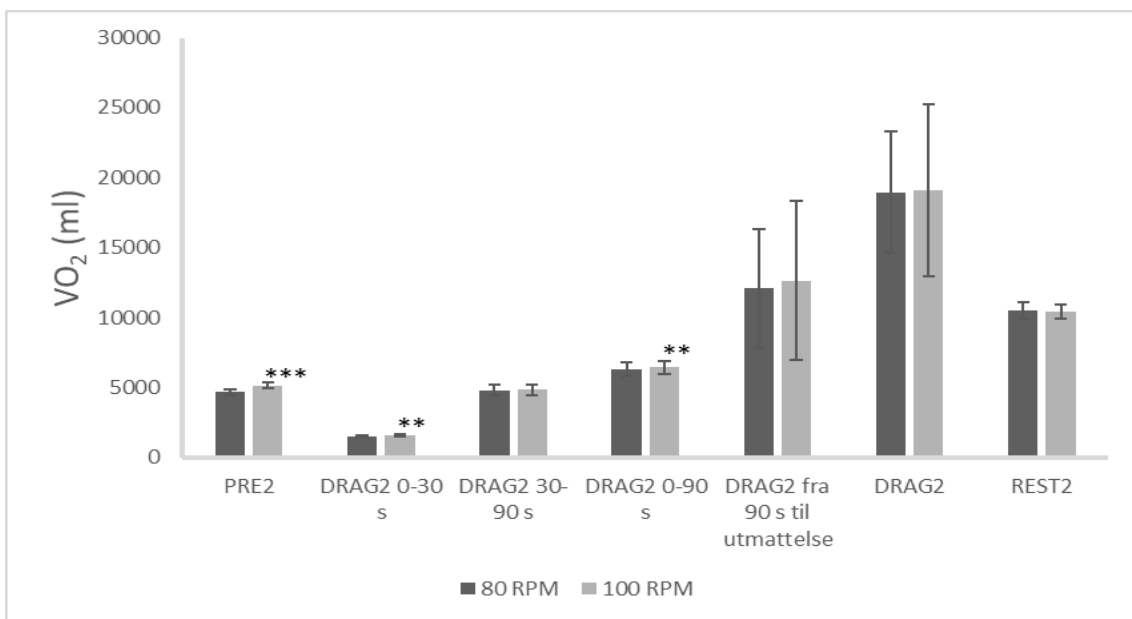
Laktat var for 60 s før DRAG2, 15 s etter DRAG2 og 180 s etter DRAG2 henholdsvis  $10\% \pm 16\%$  ( $p=0,08$ ),  $7,2\% \pm 14\%$  ( $p=0,15$ ) og  $5,1\% \pm 16\%$  ( $p=0,35$ ), ikke signifikant høyere for 100 RPM mot 80 RPM (Figur 4.6).



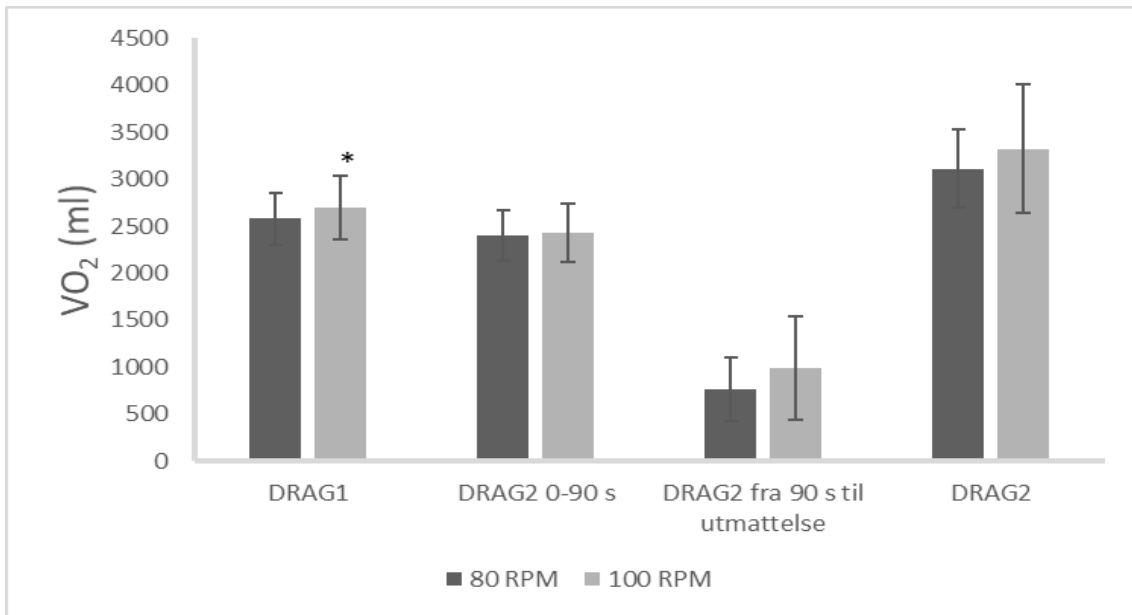
**Figur 4.2:** Verdier med tidsoppløsning 15 s (gjennomsnitt ± SD) for VO<sub>2</sub> (A), HR (B), Ventilasjon (C) og Pustefrekvens (D) ved PRE1 (-105-0 s), DRAG1 (0-90 s) og REST1 (90-270 s).



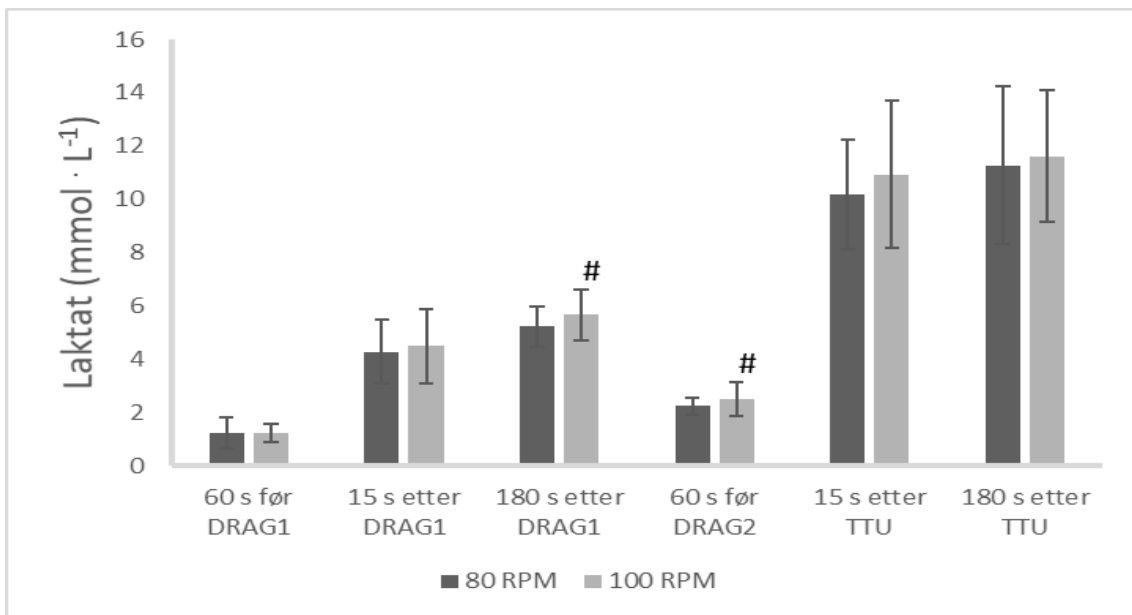
**Figur 4.3:** Akkumulert VO<sub>2</sub> ved PRE1, DRAG1 0-30 s, DRAG1 30-90 s, DRAG1, REST1 90-135 s, REST1 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; \*\* =  $p < 0,01$  og \*\*\* =  $p < 0,001$ . Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # =  $0,05 < p \leq 0,10$ .



**Figur 4.4:** Akkumulert VO<sub>2</sub> ved PRE2, DRAG2 0-30 s, DRAG2 30-90 s, DRAG2 0-90 s, DRAG2 fra 90 s til utmattelse, DRAG2 og REST2 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; \*\* =  $p < 0,01$  og \*\*\* =  $p < 0,001$ . Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM.



**Figur 4.5:** VO<sub>2</sub> underskudd ved DRAG1, DRAG2 0-90 s, DRAG2 fra 90 s til utmattelse og DRAG2 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; \* =  $p < 0,05$ .



**Figur 4.6:** Laktat verdier ved 60 s før DRAG1, 15 s etter DRAG1, 180 s etter DRAG1, 60 s før DRAG2, 15 s etter DRAG2 og 180 s etter DRAG2 (gjennomsnitt ± SD). Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # =  $0,05 < p \leq 0,10$ .

## 5. Diskusjon

Formålet med studien var å teste om tidligere vist forskjell i arbeidsøkonomi og prestasjon i sykling mellom 80 og 100 RPM også gjelder ved høye belastninger hos elitesyklister. Støttende til tidligere funn var 80 RPM mer arbeidsøkonomisk enn 100 RPM ved submaksimale belastninger og forskjellen mellom 80 og 100 RPM ble mindre ved høyere belastninger. Ved 105 % av MAP var det ingen forskjell i akkumulert  $VO_2$  eller prestasjon mellom 80 og 100 RPM.

### 5.1 *Arbeidsøkonomi ved submaksimale belastninger*

Ved alle de submaksimale belastningene målte vi lavere  $VO_2$  og HR for 80 mot 100 RPM, samtidig som laktat tenderte til eller var lavere ved 80 sammenlignet med 100 RPM. For  $VO_2$  ble forskjellen mellom 80 og 100 RPM mindre ved høyere belastninger fra 13,9% ved 100 watt til 3,6% ved 325 watt.

Foss and Hallen (2004) fant også lavere  $VO_2$  og HR ved 80 RPM sammenlignet med 100 RPM ved 0, 50, 125, 200, 275 og 350 watt. De oppgir imidlertid ikke eksakte differanser i  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM på andre belastninger enn 350 watt (2,9%), slik at sammenligninger med funnene fra vår studie blir upresis ved øvrige belastninger. Videre viste deres målinger en endring fra 60 RPM som mest energieffektivt ved belastninger på og under 125 watt, til at 80 RPM var mest energieffektivt ved 350 watt. Ved 350 watt ble det også funnet et U formet forhold hvor  $VO_2$  for 80 RPM var henholdsvis 1,6%, 2,9% og 9,6% lavere mot 60, 100 og 120 RPM. Ved beregninger av arbeidsøkonomi inngår bidrag fra både aerobe og anaerobe energiprosesser (Hallén, 2002b). Foss and Hallen (2004) fant imidlertid ingen, eller kun små forskjeller i laktat mellom 80 og 100 RPM. Derfor er det lite som tyder på at anaerobe prosesser endrer forholdet i energikostnad mellom tråkkfrekvensene, noe som støttes av Foss and Hallen (2005) der de inkluderte anaerobt energibidrag i beregningene. De fant også nå lavere energieffektivitet for 100 mot 80 RPM ved submaksimale belastninger mellom 204 og 316 watt hos to grupper elitesyklister.

Sammen viser disse funnene av høyere  $VO_2$  og HR ved samme belastning at 100 RPM har lavere energieffektivitet enn 80 RPM. Resultatene fra vår studie viser i tillegg økt relativ intensitet, indikert ved tidligere akkumulering av laktat og høyere ReR ved 100



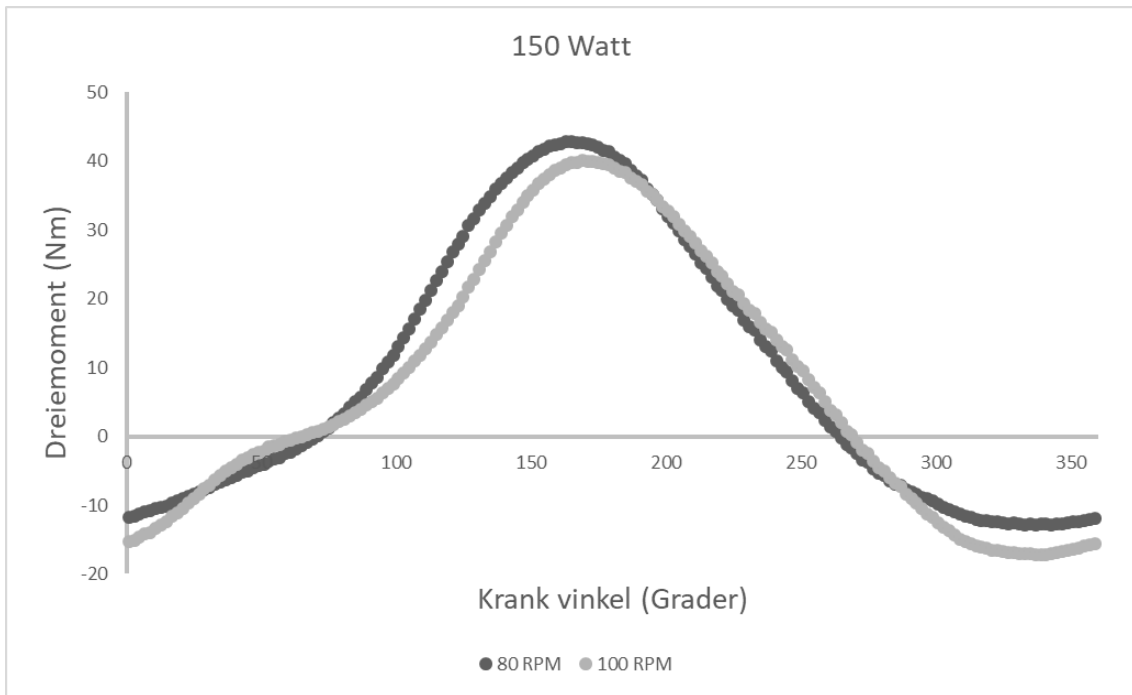
RPM, ved lik ytre belastning. Foss and Hallen (2004) fant imidlertid ingen forskjell for laktat ved 350 watt, men få forsøkspersoner (n=6) kan ha gjort det vanskelig å oppdage forskjeller.

## **5.2 Energikostnad ved ulik ytre belastning**

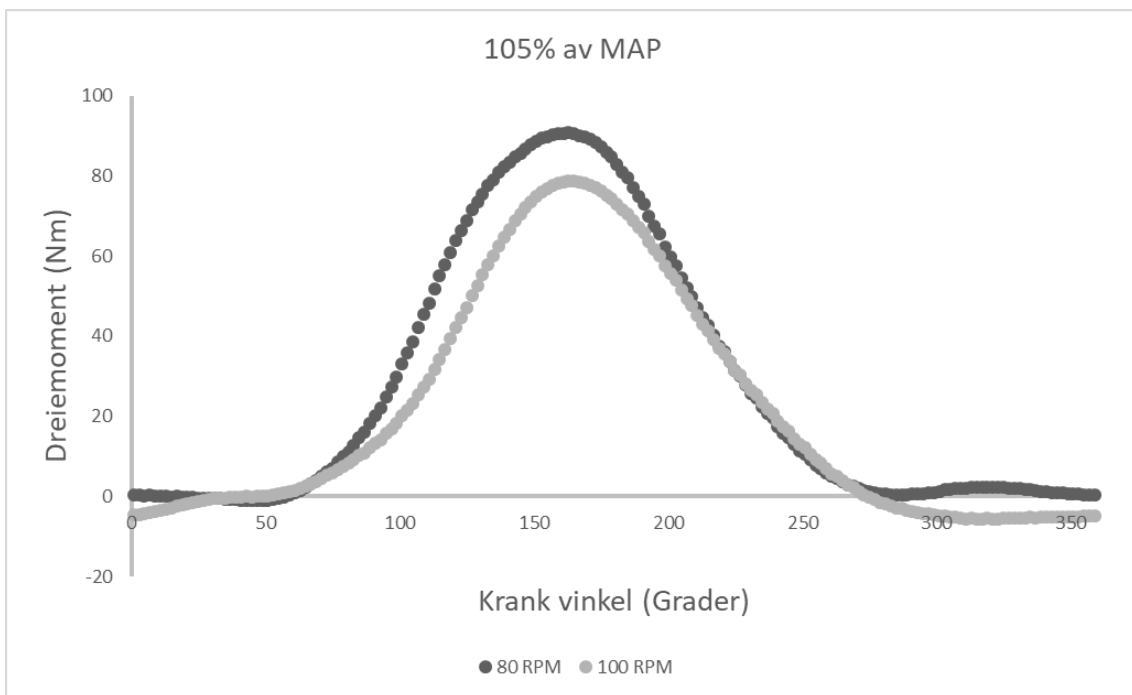
Ved sykling uten ytre belastning er det bevegelsen av beina som bestemmer energikravet og høyere tråkkfrekvens gir økt  $VO_2$  kostnad (Foss & Hallen, 2004). Denne kostnaden utgjør en mindre andel av total  $VO_2$  etter hvert som belastning øker slik at den relative differansen mellom tråkkfrekvensene blir mindre. I studien til Foss and Hallen (2004) ble det målt en  $VO_2$  kostnad på henholdsvis 0,84 og 1,20  $L \cdot min^{-1}$  ved 0 watt for 80 og 100 RPM, dette tilsvarer en relativ differanse på 30% lavere  $VO_2$  for 80 RPM. Ved 350 watt var den relative differansen redusert til 2,9% lavere  $VO_2$  for 80 RPM. Dette samsvarer med resultatene fra vår studie hvor det var en reduksjon fra 14% høyere  $VO_2$  for 100 RPM ved 100 watt, til 3,6% ved 325 watt. I tillegg til relativt mindre kostnad av å bevege beina, kan en reduksjon i  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM ved økende belastning muligens også forklares av økt aktiveringen av FT muskelfiber (Sargeant, 1994). FT muskelfiber er mest effektive ved høyere kontraksjonshastigheter kontra ST muskelfiber som er mest effektive ved lavere kontraksjons hastigheter (Ansley & Cangle, 2009). Selv om den er spekulativ, er en slik forklaringsmekanisme i samsvar med funn gjort i en studie av MacIntosh et al. (2000) hvor det ble vist at tråkkfrekvensen som ga lavest EMG aktivitet ved 100 watt var 57 RPM, mens det ved 400 watt var 99 RPM som ga lavest EMG aktivitet. MacIntosh et al. (2000) målte EMG for soleus, medial gastrocnemius, tibialis anterior, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris long head og gluteus maximus. Videre underbygges dette også av andre studier som har vist at den mest energieffektive tråkkfrekvensen øker ved økende belastning (Coast & Welch, 1985; Foss & Hallen, 2004). I studien til Foss and Hallen (2004) fant de en overgang fra 60 RPM som mest energieffektivt ved belastninger under 125 watt, til 80 RPM som mest energieffektivt ved 350 watt. Videre ble det i en studie av Lucia et al. (2004) på profesjonelle syklister funnet signifikant høyere energieffektivitet for 100 RPM mot 60 RPM ved en gjennomsnittlig belastning på 366 watt, mens det for 80 RPM ikke ble funnet noe forskjell mot hverken 60 eller 100 RPM. Det ble også gjort EMG målinger som viste lavere EMG aktivitet for 100 RPM mot både 60 og 80 RPM.

### 5.3 Tråkkteknikk

En mulig begrensning av energieffektivitet ved 100 RPM er at det tidligere har blitt vist større negativ kraft i den negative fasen av tråkket ved 100 RPM kontra lavere tråkkfrekvenser (Sanderson et al., 2000). Effekten av dette er at beinet som er i tråkkfasen må øke kraften tilsvarende den bremsende kraften til beinet i opptreksfasen, og dermed utvikle et høyere dreiemoment enn det som kreves for å overvinne den ytre belastningen. Dette samsvarer med målinger vi gjorde av dreiemoment hvor vi fant signifikant større negativt dreiemoment gjennom tråkket for 100 mot 80 RPM både ved 150 watt og ved 105 % av MAP (Figur 5.1 og 5.2). Dette krevde en større effekt i den positive fasen av tråkket på 15,9 (14,6% ± 5,6,  $p < 0,001$ ) og 5,3 (2,3% ± 2,9,  $p = 0,037$ ) watt ved 150 watt og 105% av MAP for 100 mot 80 RPM. Grunnet utstyrsvikt har vi dreiemomentdata kun fra høyre bein. Allikevel indikerer dataene at forskjellene og endringene i energieffektivitet mellom 80 og 100 RPM kan relateres til høyere kraftproduksjon i tråkket enn hva som trengs for å overvinne den ytre belastningen. Det er imidlertid ikke sikkert at det ved lave belastninger vil være mer energieffektivt å redusere det negative dreiemomentet i opptreksfasen. I en studie av Korff et al. (2007) ble godt trente syklister gitt beskjed om å ha fokus på opptrekk ved en submaksimal belastning (200 watt). Dette førte til bedre tråkkeffektivitet og lavere negativt dreiemoment, men ga allikevel signifikant dårligere energieffektivitet sammenlignet med sykling med fokus på; “rundt tråkk”, “ned tråkk” og selvvalgt tråkk. Det er allikevel sannsynlig at det ved økende belastninger kan være en fordel og gradvis redusere det negative dreiemomentet. Etter hvert som belastningen øker vil det negative dreiemomentet i opptrekkfrasen føre til en økt rekruttering av type 2 fiber for musklene i nedtråkket og dermed vil det muligens være en fordel å minimere denne aktiveringen (Ansley & Cangle, 2009). I studien vår fant vi signifikant reduksjon i det negative dreiemomentet for både for 80 og 100 RPM mellom 150 watt og 105% av MAP (Figur 5.1 og 5.2). Sanderson et al. (2000) fant også tilsvarende funn hvor negativ kraft impuls i tråkket ble gradvis mindre ved økning i belastningen (100, 200, 300 og 400 watt). Vi fant i studien vår også signifikant større reduksjon i det negative dreiemomentet fra 150 watt til 105% av MAP for 100 mot 80 RPM. Dette førte til en mindre forskjell for det positive effektbidraget mellom 100 og 80 RPM med ~10 watt fra 150 watt til 105% av MAP. Dette er sannsynligvis en påvirkende faktor til at forskjellen i energieffektivitet mellom 80 og 100 RPM blir mindre ved økning i belastningen.



**Figur 5.1:** Viser dreiemoment ved krank vinkel i tråkket for 80 og 100 RPM ved 150 watt.



**Figur 5.2:** Viser dreiemoment ved krank vinkel i tråkket for 80 og 100 RPM ved 105% av MAP.

#### **5.4 Akkumulert VO<sub>2</sub> ved 105% av MAP**

Vi fant høyere akkumulert VO<sub>2</sub> ved 0-30 sek for både DRAG1 og DRAG2 for 100 mot 80 RPM, men dette førte kun til høyere akkumulert VO<sub>2</sub> ved 0-90 sek for DRAG2 for 100 mot 80 RPM. Forut for DRAG1 og 2 fant vi imidlertid 10% høyere akkumulert VO<sub>2</sub> for 100 mot 80 RPM, både ved PRE1 og PRE2. Derfor er det sannsynlig at forskjellen fra 0-30 sek i stor grad relateres til forskjellen i VO<sub>2</sub> før økningen av belastningen. Dette blir støttet av at det ikke var noen forskjell i akkumulert VO<sub>2</sub> ved 30-90 sek verken for DRAG1 og 2, samt at det heller ikke var noen forskjell i akkumulert VO<sub>2</sub> mellom 80 og 100 RPM ved 90-150 sek ved DRAG2 eller hele DRAG2.

Heller ikke Vercruyssen et al. (2009) eller Breese et al. (2011) fant forskjell for hvor raskt VO<sub>2</sub> stiger ved overgang fra lav til høy belastning mellom 50 og henholdsvis 110 og 115 RPM, ved overgang fra en lav til en høy belastning. Det ble i studien til Vercruyssen et al. (2009) funnet større VO<sub>2</sub> amplituder både for “primary-” og “slow-components” samt større VO<sub>2</sub> amplitude fra baseline til “End-exercise” VO<sub>2</sub> for 110 mot 50 RPM. I studien til Breese et al. (2011) ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom tråkkfrekvensene i VO<sub>2</sub> amplituder for både “primary-” og “slow-components”. Det ble heller ikke funnet noen forskjell for “End-exercise” VO<sub>2</sub>, men resultatene viste dog mulige tendenser til større VO<sub>2</sub> amplituder både for “primary-” og “slow-components”, samt “End-exercise” VO<sub>2</sub> for 115 mot 50 RPM.

Til sammen tyder funnene fra studien vår, studiene til Vercruyssen et al. (2009) og Breese et al. (2011) på at tråkkfrekvens ikke påvirker hvor raskt VO<sub>2</sub> stiger ved overgang fra en lav til en høy belastning. Da det i studiene til både Vercruyssen et al. (2009) og Breese et al. (2011) ble brukt lavere belastning både absolutt og relativt (~83% av VO<sub>2</sub>peak i studien til Vercruyssen et al. (2009) og henholdsvis ~89% og ~92% av VO<sub>2</sub>peak for 50 og 115 RPM i studien til Breese et al. (2011)) tyder dette også på at tråkkfrekvens heller ikke påvirker hvor raskt VO<sub>2</sub> stiger over et større belastningsområde.

Derimot ser det ut til at tråkkfrekvens muligens kan påvirke VO<sub>2</sub> amplituder både for “primary-” og “slow-components”, samt “End-exercise” VO<sub>2</sub>. Selv om det i studien til Breese et al. (2011) ikke ble funnet noen signifikante forskjeller for VO<sub>2</sub> amplitudene,

er det interessant at arbeidsbelastningen i denne studien ikke var lik for begge tråkkfrekvensene. Dette kan ha påvirket energikravet og maskert eventuelle forskjeller mellom tråkkfrekvensene.

Det har imidlertid blitt justert for likest mulig  $VO_2$  krav ved baseline både i studien til Vercruyssen et al. (2009) og Breese et al. (2011), mens det ikke har blitt gjort noen justeringer for å få likest mulig  $VO_2$  krav ved arbeidsbelastningen. Dog ble arbeidsbelastningen i studien til Breese et al. (2011) bestemt ut i fra  $VO_{2\text{maks}}$  og ventilatorisk terskel ved en "ramp-test" på den enkelte tråkkfrekvensen. Ved kun å tilpasse for likest mulig  $VO_2$  krav ved baseline skaper dette en potensiell forskjell i belastningsøkningen fra baseline til arbeidsbelastningen mellom tråkkfrekvensene. For og gi et eksempel bruker vi en hypotetisk overgang fra 100 (baseline) til 325 (arbeidsbelastning) watt for våre forsøkspersoner. For å få likest mulig baseline  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM justere vi baseline belastning for 100 RPM til 78 watt, slik at  $VO_2$  kravet for 100 RPM er likest mulig  $VO_2$  kravet til 80 RPM ved 100 watt. Hvis vi da ved arbeidsbelastningen ikke justerer belastningen for 100 RPM slik at den tilsvarer  $VO_2$  kravet til 80 RPM ved 325 watt, men isteden bruker 325 watt som arbeidsbelastning for begge tråkkfrekvensene, lager vi en større belastnings økning for 100 (247 watt) RPM kontra 80 (225 watt) RPM. Dette gir en  $6,1\% \pm 3,8\%$  ( $p < 0,001$ ) større økning i  $VO_2$  for 100 RPM, og vil sannsynligvis føre til en større amplitude for 100 RPM. En eventuell forskjell i amplitude kan også gi utslag på hvor raskt  $VO_2$  vil stige da en større amplitude gir et større potensial for en rask økning av  $VO_2$ .

For å undersøke forskjeller i  $VO_2$  kinetikk mellom tråkkfrekvenser kan det tenkes at det vil være mer optimalt å enten justere for kun belastning eller kun  $VO_2$  krav både ved baseline og arbeidsbelastning. Dette vil muligens kunne gi et bedre bilde av hvordan forskjellige tråkkfrekvenser påvirker  $VO_2$  kinetikk.

## **5.5 Prestasjon**

Ved TTU testen på 105% av MAP fant vi ingen forskjell mellom 80 og 100 RPM.  $VO_2$  siste 60 s tangerte  $VO_{2\text{maks}}$  for begge tråkkfrekvensene, men vi fant ingen forskjell i akkumulert  $VO_2$  eller  $VO_2$  siste 60 s. Vi fant heller ingen forskjell i akkumulert  $VO_2$  underskudd (AOD) mellom 80 og 100 RPM, noe som indikerer at forskjell i tråkkfrekvens ikke påvirket AOD.

I likhet med våre funn fant Foss and Hallen (2004) heller ingen forskjell i  $VO_2$ maks mellom forskjellige tråkkfrekvenser (60, 80, 100 og 120), men de fant i motsetning til vår studie forskjell i tid til utmattelse. De fant lengst tid til utmattelse for 80 RPM med henholdsvis 14%, 8% og 25 % kortere tid til utmattelse for 60, 100 og 120 RPM. Woolford et al. (1999) fant heller ingen forskjell i  $VO_2$ maks mellom forskjellige tråkkfrekvenser (90-100, 90-130, 120-130 RPM), men også de fant forskjell i prestasjon mellom tråkkfrekvensene med best prestasjon for 90-100 RPM. Utøverne i alle tre studiene var på godt trent ( $VO_2 > 70 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) og derfor kan neppe nivåforskjell mellom utøverne, eller forskjell i  $VO_2$ maks, forklare forskjellene i tid til utmattelse i forhold til tråkkfrekvens. Foss and Hallen (2004) og Woolford et al. (1999) rapporterer imidlertid tid til utmattelse testet ved trappetrinns-protokoller der formålet først og fremst er å teste  $VO_2$ maks, mens vi benyttet en supramaksimal protokoll på konstant belastning. Dette kan indikere at valg av protokoll er viktig i denne type sammenligninger. En mulig årsak til dette kan være at eventuelle forskjeller i energieffektivitet ved belastningene i starten av en trappetrinns protokoll, raskt gir en større akkumulering av oksygen underskudd og dermed kan gi en raskere utmattelse. Vi testet også kun to forskjellige tråkkfrekvenser og må være forsiktige med å overføre funnet til øvrige tråkkfrekvenser. Imidlertid gir protokollen vi brukte et godt innblikk i eventuelle forskjeller mellom 80 og 100 RPM ved en overgang til en supramaksimal belastning og hvordan dette kan påvirke prestasjon.

Ved målingene på submaksimale belastninger fant vi i likhet med andre studier dårligere arbeidsøkonomi for 100 mot 80 RPM (Foss & Hallen, 2004). Dog ser det ikke ut til at denne forskjellen i arbeidsøkonomi ved submaksimale belastninger er av betydning ved den supramaksimale prestasjonstesten. Dette kan i hvert fall til dels forklare av at forskjellen i arbeidsøkonomi mellom 80 og 100 RPM blir mindre ved økning i belastningen. Tidligere studier som har undersøkt effekten av tråkkfrekvens på prestasjon ved lengre tempo tester på godt trente syklister viser at arbeidsøkonomi i stor grad er forklarende for forskjellene i prestasjon (Foss & Hallen, 2005; Watson & Swensen, 2006). Foss and Hallen (2005) fant <2% forskjell i prestasjon mellom 80 og 100 RPM ved en lengre prestasjons test på ~25-30min for to grupper elitesyklister med en gjennomsnittlig belastning på 340-350 watt. Forskjellen var imidlertid ikke signifikant i den ene gruppen, trolig på grunn av metodiske utfordringer. Begge gruppene målte ~3% bedre energieffektivitet under samme test for 80 mot 100 RPM.

Dette indikerer derfor at forskjellen i arbeidsøkonomi kan forklare forskjellen i prestasjonstesten i Foss and Hallen (2005), men resultatene tyder også på at forsøkspersonen ved 100 RPM delvis klarte å kompensere for en dårligere energieffektivitet ved å arbeide på en høyere utnyttelsesgrad.

I den korte supramaksimale prestasjonstesten vi benyttet var “peak”  $\text{VO}_2$ , akkumulert  $\text{VO}_2$  og AOD lik mellom tråkkfrekvensene, samt at det heller ikke var noen forskjell i laktat mellom frekvensene. Dette indikerer at forsøkspersonene våre oppnådde lik total energiomsetning ved TTU testen uavhengig av om de syklet på 80 eller 100 RPM. Dette er trolig forklarende faktorer på at vi ikke fant noen forskjell i prestasjon mellom tråkkfrekvensene.

## 6. Konklusjon

Vi fant ingen forskjell i prestasjon eller akkumulert  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM ved en supramaksimal tid til utmattelses test for elitesyklister. Vi fant heller ingen forskjell mellom tråkkfrekvensene i hvor raskt  $VO_2$  øker fra en submaksimal til supramaksimal belastning.

Vi fant i likhet med tidligere studier lavere  $VO_2$  forbruk ved 80 RPM enn 100 RPM ved submaksimale belastninger. Forskjellen i  $VO_2$  mellom 80 og 100 RPM reduseres imidlertid gradvis fra 100 til 325 watt.



## Referanser

- Ansley, L., & Cangley, P. (2009). Determinants of “optimal” cadence during cycling. *Eur J Sport Sci*, 9(2), 61-85.
- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70-84.
- Breese, B. C., Armstrong, N., Barker, A. R., & Williams, C. A. (2011). The effect of pedal rate on pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics during very heavy intensity exercise in trained and untrained teenage boys. *Respir Physiol Neurobiol*, 177(2), 149-154. doi:10.1016/j.resp.2011.03.018
- Burnley, M., Jones, A. M., Carter, H., & Doust, J. H. (2000). Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 89(4), 1387-1396. doi:10.1152/jappl.2000.89.4.1387
- Chavarren, J., & Calbet, J. A. (1999). Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(6), 555-563. doi:10.1007/s004210050634
- Coast, J. R., Cox, R. H., & Welch, H. G. (1986). Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*, 18(2), 225-230.
- Coast, J. R., & Welch, H. G. (1985). Linear increase in optimal pedal rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(4), 339-342.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc*, 24(7), 782-788.
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005). The science of cycling: factors affecting performance - part 2. *Sports Med*, 35(4), 313-337.
- Foss, O., & Hallen, J. (2004). The most economical cadence increases with increasing workload. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5), 443-451. doi:10.1007/s00421-004-1175-5
- Foss, O., & Hallen, J. (2005). Cadence and performance in elite cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 93(4), 453-462. doi:10.1007/s00421-004-1226-y
- Gaesser, G. A., & Brooks, G. A. (1975). Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J Appl Physiol*, 38(6), 1132-1139.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31(10), 725-741.

- Hagberg, J. M., Mullin, J. P., Giese, M. D., & Spitznagel, E. (1981). Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 51(2), 447-451.
- Hallén, J. (2002a). *Fysiologisk adaptasjon til utholdenhetstrening*. Oslo: Norges idrettshøgskole.
- Hallén, J. (2002b). *Hva bestemmer prestasjonen i utholdenhetsaktiviteter?* Oslo: Norges idrettshøgskole.
- Hermansen, L., & Saltin, B. (1969). Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol*, 26(1), 31-37. doi:10.1152/jap.1969.26.1.31
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B - Biological Sciences*, 126(843), 136-195. doi:10.1098/rspb.1938.0050
- Hill, D., & Vingren, J. (2012). The effect of pedalling cadence on maximal accumulated oxygen deficit. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2637-2643.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1), 35-44. doi:10.1113/jphysiol.2007.143834
- Korff, T., Romer, L. M., Mayhew, I., & Martin, J. C. (2007). Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, 39(6), 991-995. doi:10.1249/mss.0b013e318043a235
- Lucia, A., San Juan, A. F., Montilla, M., CaNete, S., Santalla, A., Earnest, C., & Perez, M. (2004). In professional road cyclists, low pedaling cadences are less efficient. *Med Sci Sports Exerc*, 36(6), 1048-1054.
- Lönnelid, S., & Norberg, R. (1993). *Mekanikk og fasthetslære* (2. utg., [Bokmålutg.]. ed.). Oslo: Fag og kultur.
- MacIntosh, B. R., Neptune, R. R., & Horton, J. F. (2000). Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*, 32(7), 1281-1287.
- Marsh, A. P., & Martin, P. E. (1993). The association between cycling experience and preferred and most economical cadences. *Med Sci Sports Exerc*, 25(11), 1269-1274.
- McKay, G. A., & Banister, E. W. (1976). A comparison of maximum oxygen uptake determination by bicycle ergometry at various pedaling frequencies and by treadmill running at various speeds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 35(3), 191-200.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2005). *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. New York: Routledge.

- Rossato, M., Bini, R. R., Carpes, F. P., Diefenthaler, F., & Moro, A. R. (2008). Cadence and workload effects on pedaling technique of well-trained cyclists. *Int J Sports Med*, 29(9), 746-752. doi:10.1055/s-2008-1038375
- Sanderson, D. J., Hennig, E. M., & Black, A. H. (2000). The influence of cadence and power output on force application and in-shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists. *J Sports Sci*, 18(3), 173-181. doi:10.1080/026404100365072
- Sargeant, A. J. (1994). Human power output and muscle fatigue. *Int J Sports Med*, 15(3), 116-121. doi:10.1055/s-2007-1021031
- Vercruyssen, F., Missenard, O., & Brisswalter, J. (2009). Relationship between oxygen uptake slow component and surface EMG during heavy exercise in humans: influence of pedal rate. *J Electromyogr Kinesiol*, 19(4), 676-684. doi:10.1016/j.jelekin.2008.02.005
- Watson, G., & Swensen, T. (2006). Effects of altering pedal cadence on cycling time-trial performance. *Int J Sports Med*, 27(4), 296-300. doi:10.1055/s-2005-865654
- Woolford, S. M., Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. C., Stanef, T., & McKenzie, I. (1999). Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(4), 285-291. doi:10.1007/s004210050594
- Zoladz, J. A., Rademaker, A. C., & Sargeant, A. J. (2000). Human muscle power generating capability during cycling at different pedalling rates. *Exp Physiol*, 85(1), 117-124.



## Tabelloversikt

*Tabell 3.1: Karakteristikker av forsøkspersoner (n=10) ..... 17*

## Figuroversikt

<b>Figur 2.1:</b> Illustrasjon av de forskjellige fasene ved beregning av VO <sub>2</sub> kinetikk: Baseline, Phase I, Phase II (“primary component”) og Phase III (“slow component”). A <sub>p</sub> ; amplitude for “primary component”, A <sub>s</sub> ; amplitude for “slow component”, TD <sub>p</sub> ; tidsforsinkelse for “primary component”, TD <sub>s</sub> ; tidsforsinkelse for “slow component”, τ <sub>p</sub> ; tidskomponent for “primary component”, τ <sub>s</sub> ; tidskomponent for “slow component”. Basert på informasjon fra Poole and Jones (2005) og Burnley, Jones, Carter, and Doust (2000). .....	11
<b>Figur 2.2:</b> Illustrasjon av de forskjellige fasene i sykkeltråkket: Positiv fase (positiv kraftutvikling), Negativ fase (negativ kraftutvikling). Ned tråkk; kraftutvikling med tyngdekraften (0-179°), Opp trekk; kraftutvikling mot tyngdekraften (180-359°). Basert på informasjon fra Sanderson et al. (2000), Rossato et al. (2008) og Korff, Romer, Mayhew, and Martin (2007). .....	13
<b>Figur 3.1:</b> Protokoll for testing av submaksimale belastninger og VO <sub>2</sub> maks. ....	21
<b>Figur 3.2:</b> Protokoll for tester ved 105% av MAP .....	22
<b>Figur 3.3:</b> Ekstrapolering av VO <sub>2</sub> krav ut i fra målinger på submaksimale belastninger (gjennomsnitt ± SD). .....	23
<b>Figur 4.1:</b> VO <sub>2</sub> (A), HR (B), ReR (C) og Laktat (D) ved 100, 175, 250 og 325 watt ved 80 og 100 RPM (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; * = p<0,05, ** = p<0,01 og *** = p<0,001. Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # = 0,05<p≤0,10. ....	26
<b>Figur 4.2:</b> Verdier med tidsoppløsning 15 s (gjennomsnitt ± SD) for VO <sub>2</sub> (A), HR (B), Ventilasjon (C) og Pustefrekvens (D) ved PRE1 (-105-0 s), DRAG1 (0-90 s) og REST1 (90-270 s). .....	29
<b>Figur 4.3:</b> Akkumulert VO <sub>2</sub> ved PRE1, DRAG1 0-30 s, DRAG1 30-90 s, DRAG1, REST1 90-135 s, REST1 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; ** = p<0,01 og *** = p<0,001. Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # = 0,05<p≤0,10. ....	30
<b>Figur 4.4:</b> Akkumulert VO <sub>2</sub> ved PRE2, DRAG2 0-30 s, DRAG2 30-90 s, DRAG2 0-90 s DRAG2 fra 90 s til utmattelse, DRAG2 og REST2 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; ** = p<0,01 og *** = p<0,001. Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM. ....	30
<b>Figur 4.5:</b> VO <sub>2</sub> underskudd ved DRAG1, DRAG2 0-90 s, DRAG2 fra 90 s til utmattelse og DRAG2 (gjennomsnitt ± SD). Signifikant forskjell mellom 80 og 100 RPM; * = p<0,05. ....	31
<b>Figur 4.6:</b> Laktat verdier ved 60 s før DRAG1, 15 s etter DRAG1, 180 s etter DRAG1, 60 s før DRAG2, 15 s etter DRAG2 og 180 s etter DRAG2 (gjennomsnitt ± SD). Trend til forskjell mellom 80 og 100 RPM; # = 0,05<p≤0,10. ....	31

**Figur 5.1:** Viser dreiemoment ved krank vinkel i tråkket for 80 og 100 RPM ved 150 watt. .... 35

**Figur 5.2:** Viser dreiemoment ved krank vinkel i tråkket for 80 og 100 RPM ved 105% av MAP..... 35

## Forkortelser og akronymer

$VO_2$ maks	Det maksimale oksygen opptaket
RPM	Tråkk per minutt
MAP	Maksimal aerob effekt (MAP)
$O_2$	Oksygen
$MV_{maks}$	Hjertets maksimale minuttvolum
$a-vO_2diff_{maks}$	Den maksimale forskjellen i $O_2$ metning mellom arterielt og venøst blod
HR	Hjertefrekvens
SV	Slagvolumet
$\%VO_2$ maks	Andel av $VO_2$ maks
CP	Kreatinfosfat
ATP	Adenosintrifosfat
$\tau$	Tidskomponent (beskriver hvor raskt $VO_2$ øker ved beregning av $VO_2$ kinetikk)
$VO_2(t)$	$VO_2$ ved et gitt tidspunkt
$VO_2(b)$	Baseline $VO_2$ før økning av belastning
A	Amplitude for $VO_2$ respons fra baseline til steady state
t	Tid
TD	Tidsforsinkelse
$A_p$	Amplitude for “primary component”
$A_s$	Amplitude for “slow component”
$TD_p$	Tidsforsinkelse for “primary component”
$TD_s$	Tidsforsinkelse for “slow component”
$\tau_p$	Tidskomponent for “primary component”
$\tau_s$	Tidskomponent for “slow component”
P	Effekt



$\tau$	Dreiemoment
$\omega$	Vinkelendringshastighet
$r$	Kraftarm
$F$	Kraft
$d\theta$	antall rotasjoner
$dt$	tidsperiode
$v$	pedalhastighet
Kraftarm	Krank-arm
ST	“Slowtwitch”
FT	“Fasttwitch”
PC	Selvvalgt tråkkfrekvens
LC	Lav tråkkfrekvens
HC	Høy tråkkfrekvens
TTU	Tid til utmattelse
$VO_2$	Oksygenopptak
$W_{maks}$	Maksimal belastning
SD	Standardavvik
Snitt	Gjennomsnitt

## Vedlegg 1

## **Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjektet**

### ***«Hvordan påvirker tråkkfrekvens energiomsetning og prestasjon ved høye belastninger hos elite syklister»***

#### **Bakgrunn og hensikt**

Dette er en forespørsel til deg om å delta i en forskningsstudie hvor vi ønsker og undersøker hvordan tråkkfrekvens påvirker prestasjon og energiomsetning ved høye belastninger. For å kunne gjennomføre dette ønsker vi å undersøke om det er forskjeller i energiomsetning og hvor raskt oksygenopptaket øker ved overgang fra lav til høy belastning ved to ulike tråkkfrekvenser. Videre ønsker vi også å undersøke hvordan disse tråkkfrekvensene påvirker prestasjon ved tid til utmattelse på en høy belastning. Funn i undersøkelsene vil kunne gi mere innsikt i hvordan tråkkfrekvens kan brukes til å optimalisere prestasjon i sykling.

Til denne studien ønsker vi å rekruttere elite herre syklister da det er behov for utøvere som er veldig godt trent for å kunne gjennomføre disse testene på en tilstrekkelig høy belastning.

#### **Hva innebærer studien?**

Det du som forsøksperson skal gjøre i denne studien er å gjennomføre tre forskjellige tester fordelt på to test dager. Disse testene blir gjennomført ved Norges idrettshøgskole og tar totalt ca. 2 timer på den første testdagen og ca. 2,5 timer den andre testdagen. Tester som skal gjennomføres er på den første testdagen (dag 1):

- Målinger på submaksimale belastning ved to ulike tråkkfrekvenser.
- VO<sub>2</sub>maks-test.

På den andre testdagen (dag 2) skal det gjennomføres:

- Målinger for energiomsetning og oksygenforbruk ved høye belastninger på to ulike tråkkfrekvenser samt tester for tid til utmattelse på høye belastninger ved to ulike tråkkfrekvenser.

#### **Målinger**

Under disse testene vil det bli gjennomført målinger av oksygenopptak. Dette vil bli gjort ved at du har en nese klype på nesens og et munnstykke i munnen som du puster gjennom. Det vil bli målt hjertefrekvens ved bruk av et pulsbelte som du har rundt brystet. Og det vil bli målt melkesyre i blodet (laktat) ved et stikk i finger tuppen.

## **Mulige fordeler og ulemper ved å delta i prosjektet**

Noen av testene i forsøket kan oppleves som svært anstrengende og du kan føle deg noe mer sliten enn du normalt ville ha gjort etter en hard treningsøkt. Blodprøvene for laktat målingene vil kunne gi et lite ubehag da disse blitt tatt med et lite stikk. For å oppnå best mulig resultater av testene vil det blir gitt føringer på treningsmengde og intensitet dagen før de de to testdagene.

Ved å delta i dette prosjektet vil du få gjennomføre flere tester som kan gi deg verdifull informasjon om din fysiske kapasitet. Du vil blant annet få målt VO<sub>2</sub>maks på ergometersyssel, få et innblikk i hvordan tråkkfrekvens påvirker din energiomsetning på submaksimale belastninger samt et innblikk i hvordan tråkkfrekvens påvirker din evne til å prestere ved høye belastninger.

## **Hva skjer med prøvene og informasjonen om deg?**

Prøvene tatt av deg og informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Alle opplysningene og prøvene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjenner opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger og prøver gjennom en navneliste.

Det er kun prosjektleder og medarbeidere som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg.

Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres.

## **Frivillig deltakelse**

**Det er frivillig å delta i studien. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke til å delta i studien.** Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Om du nå sier ja til å delta, kan du senere trekke tilbake ditt samtykke uten at det påvirker din øvrige behandling. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål om studien, kan du kontakte Jon Åsbjørn Hauge på tlf. 41 68 70 53 ([jonah@student.nih.no](mailto:jonah@student.nih.no)).

**Ytterligere informasjon om studien finnes i kapittel A – utdypende forklaring av hva studien innebærer.**

**Ytterligere informasjon om personvern og forsikring finnes i kapittel B – Personvern, økonomi og forsikring.**

**Samtykkeerklæring følger etter kapittel B.**

# Kapittel A- utdypende forklaring av hva studien innebærer

## Kriterier for deltakelse i studien

Vi ønsker å rekruttere elite herre syklister med et maksimalt oksygenopptak på minst  $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Inkludering av utøvere vil skje etter samtaler med den enkelte utøveren og en helhetlig vurdering av utøverens nivå.

## Utdypende forklaring av studien

Alle forsøkspersonene skal gjennomføre to testdager hvor det på den første testdagen skal gjennomføres submaksimale målinger på to ulike tråkkfrekvenser og en  $\text{VO}_2$  maks test. Disse testene blir både brukt til å bestemme belastningen på den andre testdagen og til målinger for energiomsetningen ved submaksimale belastninger på de to ulike tråkkfrekvensene. På den andre testdagen vil det bli gjennomført tester for  $\text{VO}_2$  kinetikk (endring i oksygenopptak) og prestasjon på de to ulike tråkkfrekvensene. Det totale tidsforbruket på den første testdagen vil være på ca. 2 timer og på den andre testdagen vil det totale tidsforbruket være på ca. 2,5 timer.

## Tester

Dag 1: Målinger på submaksimale belastninger gjennomføres for å måle energiomsetning for de forskjellige belastningene og tråkkfrekvensene. På denne testen vil det bli gjennomført totalt åtte drag på fem minutter fordelt på fire belastninger (100, 175, 250, 325 watt) og to tråkkfrekvenser (80 og 100 RPM). Det er to minutters pause mellom belastningene. Det vil under belastningene bli målt oksygenopptak, hjertefrekvens og laktat. Disse testene gjennomføres på dag 1 før målingene for  $\text{VO}_2$  maks.

$\text{VO}_2$  maks-test på ergometersykkel måler ditt maksimale oksygenopptak og gjennomføres etter målingene for de submaksimale belastningene. Testen tar ca 5-6 min og gjennomføres ved å øke belastningen med 25 watt per minutt helt til du er utmattet og ikke klarer å fortsette testen. Under testen blir det gjennomført målinger for oksygenopptak, hjertefrekvens og laktat ved utmattelse.

Dag 2:  $\text{VO}_2$  kinetikk testene blir gjennomført ved å måle oksygenopptaket ved overgang fra lav til høy belastning ved tråkkfrekvensene 80 eller 100 RPM. Vi ønsker også å måle hvordan disse tråkkfrekvensene påvirker tid til utmattelse ved høy belastning. Testene gjennomføres ved at du for hver av tråkkfrekvensene sykler to ganger på 105% av maksimal aerob effekt (MAP)). Det første 105% draget holder du i 1,5 min, mens du sykler til utmattelse i det andre draget. Før disse to dragene sykler du på 150 watt i 10,5 min, mens du etter utmattelse sykler på 150 watt i 5 min. Deretter er det 60 min pause. Første gang du gjennomfører denne protokollen sykler du enten på 80 eller 100 RPM under 105% av MAP belastningene, mens du sykler på den gjenværende frekvensen etter pausen. 150 watts belastningene sykles med lik frekvens hver gang (90 RPM), unntatt siste 2 min der du sykler med samme frekvens som under 105% belastningene. Det vil under testene bli gjennomført måling av oksygenopptak, hjertefrekvens og laktat. Protokoll dag 2:

- 1: 150 watt i 10,5 min
  - 2: 105% av MAP i 1,5 min
  - 3: 150 watt i 10,5 min
  - 4: 105% av MAP til utmattelse
  - 5: 150 watt i 5 min
- Pause 60 min før 2. gjennomføring.

### **Tidsskjema**

Testingen utføres november-desember 2016.

### **Risikovurdering**

Risikoen for skader eller andre komplikasjoner i forbindelse testingen vurderer som liten. All testing ved laboratoriet følger strenge sikkerhetsprosedyrer.

### **Økonomi**

Forsøksperson vil ikke motta honorar for å delta i studien, men studien vil ikke påføre forsøkspersonen kostnader. Reiseutgifter dekkes derfor av Norges Idrettshøgskole.

## **Kapittel B - Personvern, økonomi og forsikring**

### **Personvern**

Opplysninger som registreres om deg er vekt, høyde, alder, og resultatene fra testene.

Daglig ansvarlig for prosjektet er Bjarne Rud. Databehandlingsansvarlig er Turid Sjøstedt, avdelingsleder ved avdeling for forskning og bibliotek på Norges Idrettshøgskole. Datamaterialet vil kun bli benyttet av forskere og masterstudenter ved samme institusjon.

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

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

### **Forsikring**

Norges Idrettshøgskole er en statlig utdanningsinstitusjon, og er derfor selvassurandør.

### **Informasjon om utfallet av studien**

Når studien er ferdig vil vi invitere alle forsøkspersonene til et informasjonsmøte der resultatene fra studien blir presentert.

### **Samtykke**

Hvis du har lest informasjonsskrivet og ønsker å være med som forsøksperson i prosjektet, ber vi deg undertegne "Samtykke til deltakelse i studien" og returnere dette til en av personene

navngitt nedenfor. Du bekrefter samtidig at du har fått kopi av og lest denne informasjonen.

**Det er frivillig å delta og du kan når som helst trekke deg fra prosjektet uten videre begrunnelse.**

**Dersom du ønsker flere opplysninger kan du ta kontakt med Jon Åsbjørn Hauge på tlf. 41687053.**

**Med vennlig hilsen  
Jon Åsbjørn Hauge (Masterstudent)  
Bjarne Rud (1.amanuensis)  
Jostein Hallén (Professor)**

## **Samtykke til deltakelse i studien**

Jeg er villig til å delta i studien

-----

-----

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

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

-----

-----

(Signert av nærstående, dato)

Jeg bekrefter å ha gitt informasjon om studien

-----

-----

(Signert, rolle i studien, dato)