

# MASTEROPPGAVE

Emnekode: MKI 210

Navn: Espen Sundsvik

---

Effekten av en seks-måneders treningsperiode på  $VO_{2peak}$ , arbeidsøkonomi og kinematiske variabler i dobbeldans på rulleski.

Effect of a six-month training period on  $VO_{2peak}$ , gross efficiency and kinematic variables in the G3 sub technique on roller skis.

---

Dato: 15.05.2020

Totalt antall sider: 24

## Sammendrag

**Hensikt:** Se på effekten av en seks-måneders treningsperiode på  $VO_{2peak}$ , arbeidsøkonomi og kinematiske variabler i dobbeldans på rulleski. Med hovedfokus på om det er sammenheng mellom endring i arbeidsøkonomi og endring på kinematiske variabler. **Metode:** 5 menn og 4 kvinner ( $19,2 \pm 1,9$  år,  $64,5 \pm 10,4$  kg,  $172,5 \pm 11,6$  cm), med bakgrunn fra løping, roing og kajakk gjennomførte en seks-måneders treningsperiode med spesifikk langrennstrening. De gjennomførte en submaksimal laktatprofiltest og en  $VO_{2peak}$  test før treningsperioden (pre) etter tre (mid) og seks måneder (post). Det ble gjort fysiologiske målinger på begge testene, på den submaksimale laktatprofiltesten ble det i tillegg tatt kinematiske målinger (sykluslengde, syklushastighet, leddvinkler og vinkelhastighet). **Resultat:** Arbeidsøkonomien øker signifikant mellom pre-test og post-test ( $P < 0,05$ ), mens  $VO_{2peak}$  ikke øker. Sykluslengden øker signifikant, og syklushastigheten synker signifikant. Min. fleksjon i venstre albuevinkel bli signifikant større fra pre-test til post-test. Maksimal ekstensjon i venstre skulder øker fra mid-test til post-test, og min. fleksjon i venstre hoftelodd synker signifikant fra mid-test til post-test ( $P < 0,05$ ). Mellom pre-test og post-test ble det funnet høy negativ korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og ekstensjon av både høyre ( $r = -0,85$ ,  $P < 0,05$ ) og venstre ( $r = -0,75$ ,  $P < 0,05$ ) skulderledd. Fra pre- til post-test var det også høy korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og min. fleksjon av leddvinkel i høyre albue ( $r = 0,71$ ,  $P < 0,05$ ). **Konklusjon:** Det ble funnet en signifikant sammenheng mellom bedre arbeidsøkonomi og større ekstensjon av skulderleddet over en 6-måneders treningsperiode, i tillegg ble det funnet en signifikant sammenheng mellom forbedring av arbeidsøkonomi og økning av min. fleksjon i høyre albueledd over tid. Sykluslengden øker signifikant, mens syklushastigheten synker signifikant fra pre-test til post-test, samtidig som arbeidsøkonomien øker over tid.

**Nøkkelord:** arbeidsøkonomi, langrenn, kinematikk, leddvinkler, vinkelhastighet, teknikk.

## Abstract

**Purpose of the study:** Look at the effect of a six-month training period on  $VO_{2peak}$ , gross efficiency and kinematic variables in the G3 sub-technique on roller skis. With main focus on whether there is a relationship between change in work economy and change in kinematic variables. **Methods:** 5 men and 4 women ( $19,2 \pm 1,9$  yrs,  $64,5 \pm 10,4$  kg,  $172,5 \pm 11,6$ cm), with background from running rowing and kayaking completed a six-month training period of XC ski-specific training. They performed a submaximal lactate profile and a  $VO_{2peak}$  test at baseline (pre) after three (mid) and six months (post). Physiological measurements were made on both tests, and in the submaximal lactate profile test, kinematic measurements (cycle length, cycle rate, joint angles, and angular velocity) were also taken. **Results:** The gross efficiency increases significantly between pre-test and post-test ( $P < 0,05$ ) while  $VO_{2peak}$  does not increase. Cycle length increases significantly, and cycle rate decreases significantly. Min. left elbow flexion significantly increased from pre-test to post-test. Maximum left shoulder extension increases from mid-test to post-test. Left hip flexion decreases significantly between mid-test and post-test ( $P < 0,05$ ). Between the pre-test and post-test, a strong negative correlation was found between gross efficiency and both the right ( $r = -0,85$ ,  $P < 0,05$ ) and the left ( $r = -0,75$ ,  $P < 0,05$ ) shoulder joint. From pre- to post-test, there was also a strong correlation between gross efficiency and min. right elbow flexion ( $r = 0,71$ ,  $P < 0,05$ ). **Conclusion:** A significant correlation was found between gross efficiency and greater extension of the shoulder joint over a six-month training period, in addition a significant correlation was found between gross efficiency and increase of min. flexion in the right elbow joint over time. Cycle length increases significantly, while cycle speed decreases significantly between pre-test and post-test, while gross efficiency increases over time.

**Keywords:** gross efficiency, XC skiing, kinematics, joint angle, angular velocity, technique.

## Innholdsfortegnelse

1.0 Innledning.....	1
<b>1.1.1 Arbeidsøkonomi i langrenn</b> .....	2
<b>1.1.2 Kinematikk i langrenn</b> .....	2
<b>1.2.1 Problemstilling</b> .....	3
2.0 Metode.....	4
<b>2.1.1 Forsøkspersoner</b> .....	4
<b>2.1.2 Metodisk tilnærming til problemstillingen</b> .....	4
<b>2.1.3 Kontrollering av treningen</b> .....	5
<b>2.1.4 Submaksimal laktatprofil test</b> .....	6
<b>2.1.5 VO<sub>2peak</sub> Test</b> .....	7
<b>2.2.1 Labbutstyr og øvrig utstyr</b> .....	7
<b>2.3.1 Statistisk analyse</b> .....	9
3.0 Resultat.....	10
<b>3.1.1 Utvikling av arbeidsøkonomi og VO<sub>2peak</sub></b> .....	10
<b>3.2.1 Utvikling av sykluslengde og syklushastighet</b> .....	10
<b>3.2.2 Utvikling av leddvinkler</b> .....	11
<b>3.2.3 Utvikling av vinkelhastighet</b> .....	12
<b>3.3.1 Korrelasjonsanalyser</b> .....	13
4.0 Diskusjon.....	15
<b>4.1.1 Utvikling av arbeidsøkonomi og VO<sub>2peak</sub></b> .....	16
<b>4.1.2 Utvikling av kinematiske variabler</b> .....	16
<b>4.2.1 Sammenheng mellom arbeidsøkonomi og kinematikk</b> .....	18
5.0 Videre studier .....	19
6.0 Konklusjon .....	19
7.0 Etterord.....	20
Litteraturliste .....	21

## 1.0 Innledning

Langrenn er en tradisjonell olympisk vinteridrett som består av stilartene klassisk og skøyting, og kanskje kjent som Norges nasjonalsport, som de aller fleste nordmenn har et forhold til gjennom det som vises på tv og i media generelt. Men få vet hvilke krav som stilles for å prestere på et høyt nivå. I langrenn har det vært vanlig å dele arbeidskravene inn i 4 hovedpunkter: Fysiske arbeidskrav, mentale/psykiske arbeidskrav, tekniske arbeidskrav og miljømessige arbeidskrav (Olympiatoppen 2007). I langrenn brukes hele kroppen og det konkurreres med ulik intensitet i konkurranser som varer fra ~3 minutter (~1.3-1.8 km) i sprint renn til over 2 timer ( $\leq 50$  km) i de lengste distanserennene (Sandbakk & Holmberg, 2017). De konstante endringene i terrenget fører til svingninger i hastighet, metabolsk intensitet og arbeidsrate, samt bruk av de forskjellige underteknikkene av skøyting og klassisk både under trening og konkurranser (Andersson et al., 2017; Bolger et al., 2015; Haugnes et al., 2019; Karlsson et al., 2018; Sandbakk et al., 2011; Sandbakk et al., 2016). Derfor kreves det i langrenn høy aerob og anaerob kapasitet, styrke og hurtighet, samt taktisk og teknisk ekspertise (Losnegard, 2019; Sandbakk and Holmberg, 2017).

I langrenn har det lenge vært vanlig å bruke det maksimale oksygenopptaket ( $VO_{2max}$ ) som et mål på fysiologisk kapasitet, og langrennsløpere i verdensklasse har vist blant de høyeste  $VO_{2max}$  målingene som noen gang er rapportert i vitenskapelig litteratur, med verdier på 70-80 og 80-90  $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  for henholdsvis kvinner og menn (Haugen et al., 2018; Ingjer, 1992; Saltin and Astrand, 1967; Tønnessen et al., 2015). Langrennsløpere oppnår sin  $VO_{2max}$  på løping, og på grunn av den tekniske kompleksiteten i langrenn er langrenns spesifikk maksimalt oksygenopptak ( $VO_{2peak}$ ) over 90% av  $VO_{2max}$  ansett som en viktig kapasitet, i tillegg til høy utnyttelse av  $VO_{2peak}$  i alle de viktigste underteknikkene i klassisk og skøyting (Sandbakk & Holmberg, 2017). Det har også vist seg at sportsspesifikke tester i laboratoriet (f.eks. tid til utmattelse og toppfart) på tredemølle med rulleski ved både klassisk og skøyting kan sammenlignes med prestasjon på snø (Sandbakk et al., 2011; Sandbakk et al., 2016), og laborietester har blitt brukt for å skille utøvere på ulike prestasjonsnivå (Sandbakk et al., 2011; Sandbakk et al., 2016). Videre må langrennsløpere effektivt konvertere metabolsk energi til ekstern arbeidsrate og hastighet, dermed har gross efficiency vist seg å være en sentral faktor for prestasjon i både sprint- og distanse-langrenn (Ainegren et al., 2013; Sandbakk et al., 2012; Sandbakk et al., 2013; Sandbakk et al., 2010; Sandbakk et al., 2011).

### ***1.1.1 Arbeidsøkonomi i langrenn***

Gross efficiency er definert som forholdet mellom energi forbrukt og mekanisk arbeid (Sidossis et al., 1992). I denne studien blir det norske begrepet arbeidsøkonomi brukt som gross efficiency. Arbeidsøkonomi er vanlig å bruke i løping, sykling og gange, og har i de senere årene også blitt brukt i langrenn i for å kunne si noe om effektivitet. Måling av det mekaniske arbeidet varierer fra idrett til idrett da forutsetningene ikke er like, og det kan være utfordrende å få korrekte målinger av mekanisk arbeid. Sykling er den idretten der det er enklest å regne ut arbeidsøkonomi, her måles frekvensen og kraften direkte i kranken på sykkelen (Millet et al., 2002), og arbeidsøkonomi regnes direkte ut ifra dette. Mens i gange og løping blir mekanisk arbeid gitt ved økningen i potensiell energi (Di Prampero, 1986). I løping er det så stor friksjon mot underlaget at det kan overses, men det kan derimot være aktuelt å ta med luftmotstand i beregningen av arbeidsøkonomi, selv om dette også ofte overses da de fleste tester blir gjort på tredemølle. I langrenn skøyting er det en glidfase der skien utgjør et arbeid mot underlaget, dette har ført til at friksjon er med i beregningen av arbeidsøkonomi i langrenn (Sandbakk et al., 2010). I Sandbakk et al. (2012) sin studie på rulleski skøyting ble det funnet at arbeidsøkonomien var høyere i motbakke (8% stigning) enn i flatere terreng (2% stigning). Arbeidsøkonomien vurderer her effektiviteten til hele kroppen, noe som ikke nødvendigvis gjenspeiler effektiviteten til skjelettmuskulaturen (dvs. muskeleffektivitet). I løping og gange er det også blitt vist at arbeidsøkonomien er høyere i motbakke enn på flatt underlag (Minetti et al., 2002). Det er også funnet at sprint-langrennsløpere i verdensklasse har høyere arbeidsøkonomi enn sprint-langrennsløpere på et nasjonalt nivå i dobbeldans på en tredemølle (Sandbakk et al., 2010). Det har blitt indikert at arbeidsøkonomien er forskjellig mellom langrennsløpere på ulike prestasjonsnivå (Sandbakk et al., 2010; Millet et al., 2003), og at høy arbeidsøkonomi kan være sterkt signifikant for suksess i langrenn (Sandbakk et al., 2010).

### ***1.1.2 Kinematikk i langrenn***

For å oppnå størst mulig mekanisk arbeid i motbakker er det visst blant elitelangrennsløpere at de har høyere syklusfrekvens og utfører større kraft per syklus, i sammenheng med en relativt lengre fremdriftsfase enn utøvere på et lavere nivå (Sandbakk et al., 2012). I langrenn er det blitt gjort en del forskning på kinematikk, og hvordan det påvirker arbeidsøkonomi (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998a, b, c; Stöggl & Müller, 2009; Sandbakk et al., 2010;

Sandbakk et al., 2012). I en studie på dobbeldans ble det funnet at langrennsløpere bruker raskere syklus og utfører mer arbeid per syklus på 8% stigning enn de gjør på 2% stigning (Sandbakk et al., 2012). Disse forskjellene var relatert til større andel fremdriftskrefter og kortere glidfase i motbakker, som også er i samsvar med tidligere funn fra Millet et al. (1998b), der det ble undersøkt rulleski skøyting på forskjellige stigninger.

I tillegg har de beste langrennsløperne ofte en skiteknikk med lengre sykluslengde og lavere syklushastighet, noe som indikerer bedre teknikkspesifikk fremdrift som muligens kan forklare variasjoner i arbeidsøkonomi og effektivitet på ski (Sandbakk et al., 2010; Sandbakk & Holmberg, 2017). En begrunnelse til dette kan være at forbedret teknikk og/eller styrke har potensiale til å føre til lengre sykluslengde og høyere effektivitet. Og på grunn av den naturlige kompleksiteten i langrennsteknikk, antas det at mengden produsert muskelkraft som overføres til ekstern kraft og hastighet kan variere betydelig mellom utøvere på ulikt nivå. Både effektivitet og prestasjon vil være sterkt påvirket av teknikk og teknikkspesifikk styrke (Stöggl et al., 2007; Sandbakk et al., 2010).

### ***1.2.1 Problemstilling***

Tidligere forskning på arbeidsøkonomi og kinematiske variabler innen langrenn har vist at de kinematiske variablene sykluslengde, syklustid og syklushastighet har stor innvirkning på arbeidsøkonomi. Og de fleste undersøkelsene som har sett på dette tidligere har pekt på at det er teknikk og/eller teknikkspesifikk styrke som påvirker effektivitet og de ulike sykluskarakteristikkene (dvs. sykluslengde, syklustid og syklushastighet). Dobbeldans er en kompleks teknikk, der riktig teknisk utførelse vil ha stor betydning for den fremdriften man kan skape. Tidligere forskning har sett på hvordan kinematiske variabler påvirker arbeidsøkonomi (Bilodeau et al., 1992; Millet et al., 1998a, b, c; Stöggl & Müller, 2009; Sandbakk et al., 2010; Sandbakk et al., 2012). Det er ikke blitt gjort noen langrenns undersøkelser som har sett på utviklingen av de kinematiske variablene (leddvinkler, vinkelhastighet, samt sykluslengde, syklustid og syklushastighet) i forhold til arbeidsøkonomi over en lengre tidsperiode. Leddvinkler og vinkelhastighet blir i tillegg inkludert i oppgaven for å kunne se hvilke deler av teknikken som endrer seg hvis arbeidsøkonomien endrer seg. Denne undersøkelsen skal derfor se på effekten av en seks-måneders treningsperiode på  $VO_{2peak}$ , arbeidsøkonomi og kinematiske variabler i dobbeldans på rulleski. Med hovedfokus

på om det er sammenheng mellom endring i arbeidsøkonomi og endring på kinematiske variabler.

## 2.0 Metode

### 2.1.1 Forsøkspersoner

Studien besto av 17 unge kinesiske idrettsutøvere som hadde bakgrunn fra ulike sommerutholdenhetsidretter. 9 utøvere var tidligere løpere (lang og mellomdistanse) og 8 utøvere var tidligere roere og kajakkutøvere. Gruppen besto av 10 menn og 7 damer, og de hadde hatt en  $3.9 \pm 1.9$  måneders introduksjon til rulleski før testingen startet. Ingen av dem hadde gått på rulleskimølle før den første testen. På grunn av skade og/eller sykdom på enkelte utøvere på en av de tre testene var det 9 utøvere (Tabell 1) som gjennomførte alle tre testene. Derfor er det 9 utøvere som er tatt med i statistikkanalysene. Studien ble godkjent av Norsk senter for forskningsdata (NSD) og gjennomført i samsvar med Helsingfors-erklæringen. Alle utøverne signerte et samtykkeskjema og kunne trekke seg fra studien når som helst uten å gi ytterligere forklaring.

**Tabell 1:** Oversikt over fysiologiske data for forsøkspersonene. \*Resultat av første spesifikk  $VO_{2peak}$  test på rulleski skøyting.

Alder	Vekt	Høyde	VO <sub>2peak</sub>
$19,2 \pm 1,9$ år	$64,5 \pm 10,4$ kg	$172,5 \pm 11,6$ cm	$59,5 \pm 4,9^*$

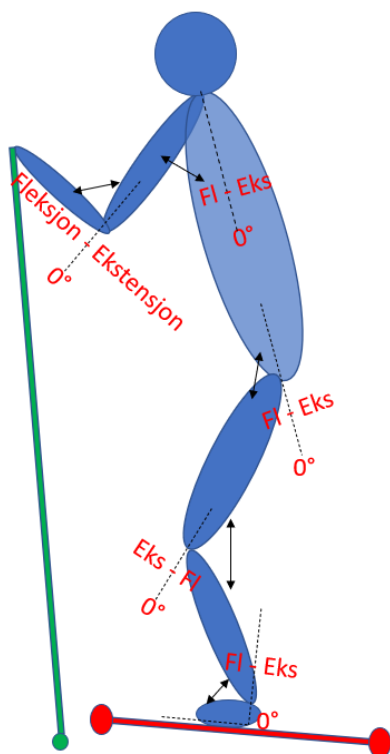
### 2.1.2 Metodisk tilnærming til problemstillingen

Etter at utøverne hadde fått en  $3.9 \pm 1.9$  måneders introduksjon til rulleski i Kina ble det gjennomført 3 tester på en rulleskimølle ved laboratoriet til Nord Universitet/Meråker VGS i løpet av en 6-måneders periode. I denne perioden fulgte alle utøverne et standardisert langrenns-spesifikt treningsprogram. Pre-test ble gjennomført i november 2018, etterfulgt av mid-test i februar 2019 og post-test i mai 2019. Alle testprosedyrer var lik på alle 3 testene. For å undersøke om arbeidsøkonomi blir påvirket av kinematiske variabler på dobbeldans i langrenn ble det gjennomført en submaksimaltest med fysiologiske og kinematiske målinger.



Testen ble gjennomført likt hver gang, der fysiologiske og kinematiske variabler ble gjennomført på samme stigningsprosent ( $3^\circ$ ) og hastighet ( $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ved hver test. Den uavhengige variabelen i forsøket var teknikk (kinematikk), det ble sett på fem ulike vinkler (Figur 1) som det også ble regnet ut vinkelhastighet ut ifra. Det ble sett på fleksjon/ekstensjon i følgende fem vinkler: skulderledd, albueledd, hofteludd, kneledd og ankelledd. Vinkelhastigheten er regnet ut ifra en 5-punkts vinkelendring over tid. I tillegg ble det sett på sykluslengde, syklustid og syklushastighet for å se hvordan kinematikk påvirker eventuelle endringer i arbeidsøkonomien.

**Figur 1:** Oversikt over hvilke leddvinkler som er brukt i studien, og hvordan de blir målt.



### 2.1.3 Kontrollering av treningen

I løpet av denne 6-måneders treningsperioden fulgte alle utøverne et standardisert langrenns-spesifikt treningsprogram. Hver enkelt utøver hadde en personlig trener som hjalp de med å justere treningen for å optimalisere treningsbelastningen og gjøre tilpasninger for hver enkelt utøver. En normal treningsuke besto av 2 daglige treningsøkter, i tillegg hadde de en kort økt på morgenen på ca. 30 min der fokus var å utvikle grunnleggende ferdigheter som

koordinasjon, balanse og stabilisering. Det ble brukt øvelser som er rettet mot kraftoverføring og funksjonelle bevegelser for langrenn.

#### ***2.1.4 Submaksimal laktatprofil test***

Den avhengige variabelen i studien er arbeidsøkonomi, og verdiene for arbeidsøkonomi ble kalkulert ut ifra målinger av Oksygenopptak ( $VO_2$ ), Laktatkonsentrasjon i blod (BLa), respirasjon utvekslingsforhold, opplevd anstrengelse (1-10 skala), hjertefrekvens (HF), gravitasjonskraft (Pg) og den rullende friksjonskraften (Pf).

Før hver test gjennomførte utøverne en standardisert lavintensitetsoppvarming, der de løp på tredemølle og ble instruert til å holde intensitet 3 på opplevd anstrengelses skalaen. Den submaksimale laktatprofil testen ble gjennomført med konstant hastighet ( $2.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) og startet på  $1^\circ$  stigning, deretter økte stigningen med  $1^\circ$  for hvert drag. Det ble gjennomført 3-6 drag ned 5 minutters varighet, som vist i Tabell 2. Hjertefrekvensen ble definert som gjennomsnittet av de siste 30 sekundene av hvert drag, det ble det spurt om opplevd anstrengelse og tatt laktatmålinger umiddelbart etter hvert drag. Ved en gitt submaksimal arbeidsbelastning ( $3^\circ$ ), ble  $VO_2$ , videoopptak og kinematiske målinger inkludert de siste 2 minuttene av draget for å kunne kalkulere den submaksimale oksygenkostnaden ( $O_2$ -kostnad), kinematiske variabler (syklus, vinkler, og vinkelhastighet) og effektivitet. Når man skal beregne energiforbruk er det vanlig å måle mengden oksygen kroppen tar opp i løpet av en tidsperiode, for deretter å beregne energien denne mengden oksygen tilsvarer. For at man skal få valide målinger, er det viktig at man oppnår et stabilt oksygenopptak (Hughson, 2009). Et stabilt oksygenopptak oppnås etter 1-2 minutter ved små intensitets økninger, og  $>3$  minutter ved moderat til store intensitets økninger. Derfor ble målingene av respirasjon utvekslingsforhold, oksygenopptak og puls tatt de 2 siste minuttene av draget. Arbeidsøkonomi ble brukt som en måling av effektivitet og er definert som forholdet mellom mekanisk arbeid og energiforbruk som beskrevet av (Sandbakk et al., 2010). Utøverne var instruert til å bruke skøyteteknikken dobbeldans under dette draget, resten av testen brukte de frivillig teknikk. Den submaksimale testen var ferdig når utøverne nådde et laktatnivå i blodet på  $\geq 4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Effekt ved  $\geq 4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  ble beregnet ved å bruke lineær interpolering (Sjödín et al., 1982)

**Tabell 2:** Tabell som viser varighet, stigning og hastighet på den submaksimale laktatprofil testen. Mellom dragene ble de spurt om opplevd anstrengelse (RPE), og det ble tatt laktat (BLa), det tilsvarte omtrent 1 min pause mellom hvert drag.

5 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
1°	2°	3°	4°	5°	6°
2.5 m·s <sup>-1</sup>	2.5 m·s <sup>-1</sup>	2.5 m·s <sup>-1</sup>	2.5 m·s <sup>-1</sup>	2.5 m·s <sup>-1</sup>	2.5 m·s <sup>-1</sup>

### 2.1.5 VO<sub>2peak</sub> Test

Etter endt submaksimal laktatprofil test hadde utøverne en 5 minutters pause før det ble gjennomført en VO<sub>2peak</sub> test. Testen ble startet med en stigning på 4°, og en hastighet på 2.5 m·s<sup>-1</sup>. Stigningen var konstant, mens hastigheten økte gradvis med 0.28 m·s<sup>-1</sup> hvert 60. sekund til total utmattelse. Det ble gjort kontinuerlige oksygenmålinger og målinger av hjertefrekvens, og VO<sub>2peak</sub> ble definert som gjennomsnittet av de 2 høyeste påfølgende 30 sekunders målingene. Maksimal hjertefrekvens (HF<sub>peak</sub>) ble definert som den høyeste 5 sekunders målingen i løpet av testen, mens RPE ble tatt direkte etter testen og laktatmåling ble tatt 1 minutt etter gjennomført test. VO<sub>2peak</sub> testen ble gjennomført som en del av å kunne kartlegge utøvernes fysiske forutsetninger.

**Tabell 3:** Oversikt over VO<sub>2peak</sub> testprotokol. Testprotokollen kan utvides med økende hastighet, om total utmattelse ikke er nådd.

1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min	1 min
2.5m·s <sup>-1</sup>	2.78m·s <sup>-1</sup>	3.06m·s <sup>-1</sup>	3.34m·s <sup>-1</sup>	3.62m·s <sup>-1</sup>	3.9m·s <sup>-1</sup>	4.18m·s <sup>-1</sup>	4.46m·s <sup>-1</sup>
4°	4°	4°	4°	4°	4°	4°	4°

### 2.2.1 Labbutstyr og øvrig utstyr

Alle tre testene ble gjennomført ved testlaboratoriet til Nord universitet/Meråker VGS i Meråker. Testene ble gjennomført på en 3.5 x 2.5 m tredemølle (RL 3500E, Rodby, Södertälje, Sweden). Utøverne ble sikret ved hjelp av en klatresele feste til nødstopp i taket over rulleskimøllen, i tilfelle fall. Båndet på tredemøllen består av et underlag som gjør at utøverne kunne bruke sine egne skøytestaver (stavlengde 157 ± 9 cm) med spesiallagde børster/pigger (Biomekanikk AS, Oslo, Norway). Alle utøverne brukte det samme rulleskiparet med standard kategori 2 hjul (IDT Sports, Lena, Norway) for å redusere

variasjonene i rullemotstand. Før hver test-dag ble rulleskiene forhåndsoppvarmet i 20 minutter på rulleskimølla av en testperson og den rullende friksjonskraften ( $F_f$ ) ble målt med en slepe test som tidligere beskrevet av (Sandbakk et al., 2010), som ga en gjennomsnittlig  $\mu$  verdi på 0.023, som ble inkludert i kalkuleringen av mekanisk arbeid.

Syklus karakteristikk (dvs. syklustid, sykluslengde og syklushastighet) ble bestemt av et 2-D videoopptak med en Apple iPad 4 (Apple Inc., California, USA) med 30 bilder per sekund. Video opptakene ble videre analysert med programvaren Coaches Eye (TechSmith Corporation, Michigan, USA). IPaden ble plassert på venstre side av tredemøllen,  $90^\circ$  til utøvernes skiretning som får med hele bevegelsesområdet til både skiene og stavene. Syklustid ble tatt som tiden mellom 2 stavissett, og gjennomsnittlig syklus karakteristikk ble bestemt ved timing av 5 sykluser. Sykluslengde ble deretter kalkulert ved å multiplisere hastigheten på tredemøllen med syklustid, mens syklushastigheten ble tatt til gjengjeldelse av syklustiden slik som beskrevet i tidligere studier (Sandbakk et al., 2010).

Resten av de kinematiske målingene (leddvinkler og vinkelhastighet) ble gjort med et akselerometer basert bevegelsessystem (MVN, Xsens Technologies, Enschede, The Netherlands). Dette systemet består av en helkroppsdrakt utstyrt med 17MTx akselerometre. Før testingen startet ble utøvernes kroppsdimensjoner og kalibreringsposisjoner målt i henhold til Xsens sin kalibreringsprotokoll med MVN-programvaren (MVN Biomech 3.1), for å tilpasse og skalere MVN Biomech-modellen til utøveren. Plasseringen av anatomiske landemerker ble ikke målt direkte, men avledet fra sensororienteringer i kombinasjon med den biomekaniske modellen. Dataene fra Xsens drakten ble samlet med en bildefrekvens på 240 HZ og eksportert til et MVNX format for videre analyse.

Oksygenmålinger ble gjort med en oksygenanalysator med miksekammer og måling hvert 30. sekund (Oxycon Pro, Jaeger GmbH, Hoechberg, Germany). Den måler utåndingsluften i et miksekammer, der mengden av  $\text{CO}_2$  og  $\text{O}_2$  bli analysert. Flowtransduseren (Triple V, Erick Jaeger GmbH, Hoechberg, Germany) ble kalibrert ved hjelp av en 3-liters kalibreringspumpe (Calibration syringe D, SensorMedics, Yorba Linda, CA, USA), og ved hjelp av romluft og en kjent gassblanding (15,00%  $\text{O}_2$  og 5,85%  $\text{CO}_2$ ) ble oksygenanalysatoren kalibrert etter produsentenes spesifikasjoner. Oxycon Pro er ifølge (Foss & Hallen, 2005; Carter & Jeukendrup, 2002), et presist måleapparat for å måle oksygenopptak hos mennesker. (Rietjens et al., 2001) rapporterer også at Oxycon Pro er nøyaktig ved både lave og høye ventilasjoner. Alle tester ble gjennomført med neseclupe for å sikre at all luft blir transportert gjennom oksygenanalysatoren. Hjertefrekvensen ble kontinuerlig målt med en Garmin Forerunner 935 (Garmin Ltd., Olathe, KS) og synkronisert med Oxycon Pro systemet. Måling av blodlaktat

(BLa) av 20  $\mu\text{L}$  blod ble gjort med den stasjonære laktatanalysatoren Biosen C-Line (Biosen, EKF Industrial Electronics, Magdeburg, Germany). Laktatmålingene ble gjennomført etter de prosedyrene som er gitt fra produsenten. Laktatanalysatoren ble kalibrert hvert 60. minutt med en standardkonsentrasjon på  $12 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ . Opplevd anstrengelse ble bestemt ved å bruke en 1-10 poengs RPE skala (Haddad, Stylianides, Djaoui, Dellal, & Chamari, 2017). Utøvernes kroppsvekt ble målt med en presis vekt (Seca, model 708, GmbH, Hamburg, Germany), og utøvernes høyde ble målt med et kalibrert stadiometer (Holtain Ltd., Crosswell, UK).

### ***2.3.1 Statistisk analyse***

All data er rapportert som gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik (SA). Dataene ble inspisert for feilmålinger, og eventuelle utliggere ble tatt ut. Resultatene fra Xsens-drakten ble eksportert fra MVN-analyse til excel (Microsoft, Redmond, Washington, USA), resten av dataene ble ført inn i excel. Deretter ble tallmaterialet eksportert til SPSS (IBM SPSS Statistics 26,0 International Business Machines, New York, USA) for videre statistiske analyser. Det ble gjennomført en One-way ANOVA repeated measures for å se utviklingen av både de kinematiske variablene og de fysiologiske variablene mellom pre-, mid-, og post-test. Etterfulgt av en Bonferroni post hoc test for å kunne lokalisere hvor forskjellene lå i forhold til testtidspunktene. Det ble i tillegg gjennomført en korrelasjonsanalyse mellom arbeidsøkonomi og alle de kinematiske variablene for å undersøke om det var noen sammenheng mellom endring i kinematikk og endring av arbeidsøkonomi. Korrelasjoner ( $r$ ) over 0,7 regnes som høy korrelasjon, verdier mellom 0,45 og 0,7 er moderate korrelasjoner, og mellom 0,2 og 0,45 regnes som lav korrelasjon, mens korrelasjoner under 0,2 regnes som ingen korrelasjon (Fallowfield et al., 2005). For alle sammenligninger, ble statistisk signifikans satt til  $P < 0,05$ . Alle figurer og tabeller er laget i excel og power point.

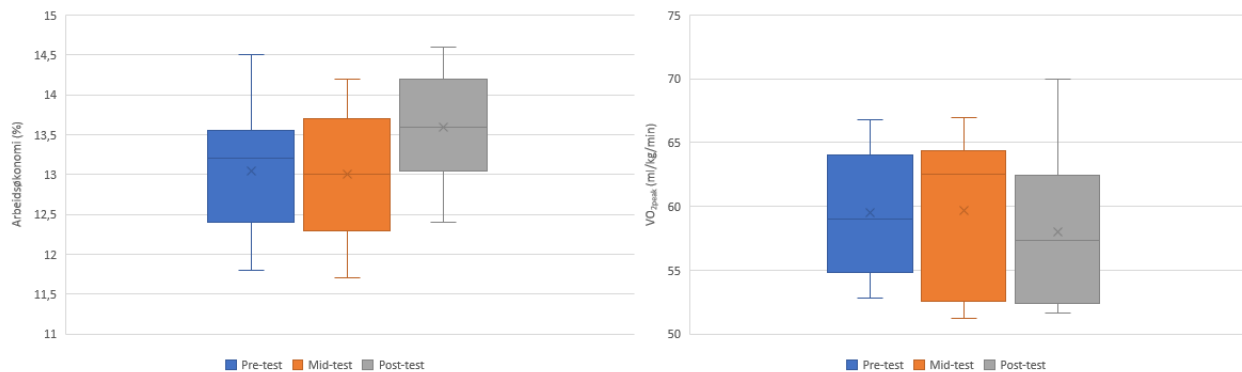
## 3.0 Resultat

### 3.1.1 Utvikling av arbeidsøkonomi og $VO_{2peak}$

Utviklingen av arbeidsøkonomi på den submaksimale laktatprofil testen og  $VO_{2peak}$  mellom pre-, mid-, og post-test er presentert i Figur 2. En One-way ANOVA repeated measures viser at arbeidsøkonomien har hatt en signifikant påvirkning på tidspunkt for test ( $P < 0,05$ ).

Arbeidsøkonomien øker signifikant fra pre-test til post-test ( $P = 0,027$ ). Mens det er ingen signifikante forskjeller mellom  $VO_{2peak}$  og testtidspunkt ( $P \geq 0,05$ ).

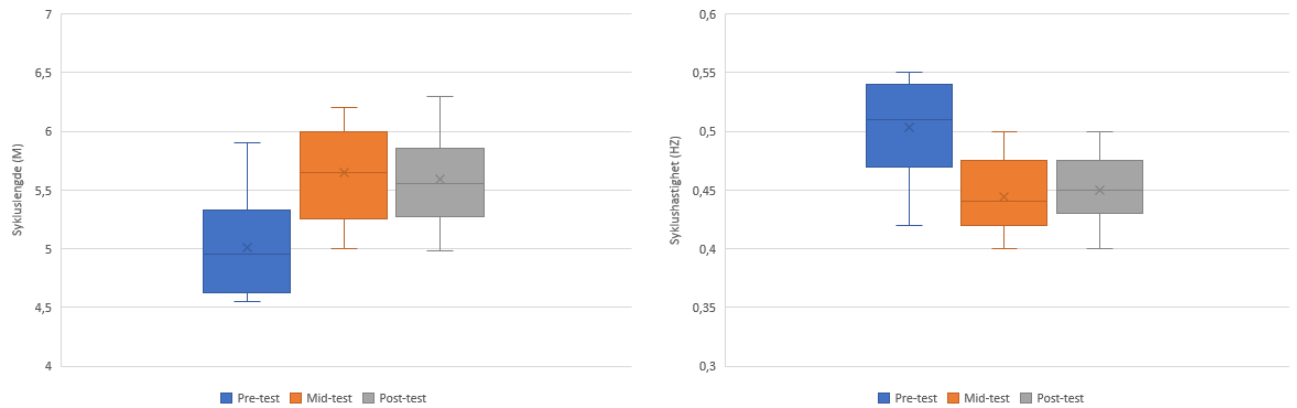
**Figur 2:** Utviklingen av arbeidsøkonomi og  $VO_{2peak}$  mellom pre-, mid-, og post-test.



### 3.2.1 Utvikling av sykluslengde og syklushastighet

På Figur 3 er utviklingen av sykluslengde og syklushastighet på den submaksimale laktatprofil testen mellom pre-, mid-, og post-test presentert. Sykluslengde har en signifikant påvirkning på testtidspunkt ( $P < 0,05$ ). Sykluslengden øker signifikant fra pre-test til post-test ( $P = 0,015$ ), den øker også signifikant fra pre-test til mid-test ( $P = 0,027$ ). Syklushastigheten har også en signifikant innvirkning på testtidspunkt ( $P < 0,05$ ). Syklushastigheten synker signifikant både mellom pre-test og post-test ( $P = 0,013$ ) og pre-test og mid-test ( $P = 0,022$ ).

**Figur 3:** Utviklingen av sykluslengde og syklushastighet mellom pre-, mid-, og post-test.



### 3.2.2 Utvikling av leddvinkler

På Tabell 4 er det fremstilt endringer mellom pre-, mid-, og post-test for maksimale leddvinkler i fleksjon og ekstensjon på den submaksimale laktatprofil testen. Min. fleksjon i venstre albuevinkel blir signifikant større fra pre-test til post-test ( $P=0,017$ ) og fra mid-test til post-test ( $P=0,001$ ). Videre finner vi en signifikant økning av maksimal ekstensjon i venstre skulder fra mid-test til post-test ( $P=0,018$ ), mens det akkurat ikke er en signifikant økning fra pre-test til post-test ( $P=0,058$ ). Min. fleksjon i venstre hoftelodd synker signifikant fra mid-test til post-test ( $P=0,035$ ). Høyre ankelledd har en signifikant nedgang av maksimal fleksjon mellom pre-test og mid-test ( $P=0,031$ ). Mens venstre ankelledd har en signifikant nedgang i maksimal ekstensjon fra mid-test til post-test ( $P=0,030$ ).

**Tabell 4:** Utvikling av leddvinkler målt i grader (°) mellom pre-, mid-, og post-test.**Submaksimal laktatprofil test**

	Pre-test		Mid-test		Post-test	
	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre
<i>Maksimal leddvinkel skulder (°)</i>						
Fleksjon	38,9 ± 14,3	43,1 ± 12,8	41,8 ± 8,6	40,8 ± 10,7	36,4 ± 7,8	34,5 ± 12,0
Ekstensjon	2,1 ± 11,0	6,8 ± 10,3	5,6 ± 8,0	10,5 ± 7,0	9,3 ± 8,4	18,2 ± 10,0#
<i>Maksimal leddvinkel albue (°)</i>						
Fleksjon	119,4 ± 12,5	112,3 ± 15,4	117,4 ± 13,3	114,0 ± 10,8	120,4 ± 12,0	119,44 ± 6,2
Min. fleksjon	24,8 ± 13,4	15,0 ± 11,6	28,1 ± 14,3	21,8 ± 12,4	31,4 ± 12,7	37,6 ± 17,0*#
<i>Maksimal leddvinkel hofte (°)</i>						
Fleksjon	52,7 ± 5,2	52,3 ± 5,6	50,9 ± 6,8	50,0 ± 7,0	48,8 ± 8,2	48,25 ± 7,2
Min. fleksjon	5,8 ± 4,6	8,5 ± 5,4	4,9 ± 3,9	10,0 ± 2,9	1,3 ± 4,2	5,9 ± 3,8#
<i>Maksimal leddvinkel kne (°)</i>						
Fleksjon	56,8 ± 6,0	55,3 ± 6,8	53,3 ± 6,4	52,3 ± 5,6	54,0 ± 8,4	51,4 ± 6,7
Min. fleksjon	13,4 ± 3,9	14,1 ± 5,0	11,3 ± 7,3	14,5 ± 5,2	13,3 ± 5,2	13,6 ± 3,8
<i>Maksimal leddvinkel ankel (°)</i>						
Fleksjon	24,3 ± 4,9	22,9 ± 4,3	18,6 ± 3,5*	19,4 ± 4,0	21,7 ± 5,7	22,6 ± 3,8
Ekstensjon	15,5 ± 5,3	15,3 ± 8,8	17,4 ± 7,3	18,3 ± 7,8	13,8 ± 6,1	13,1 ± 6,8#

\*Signifikant forskjellig fra pre-test (\*=P<0.05). #Signifikant forskjellig fra mid-test (#=P<0.05).

### 3.2.3 Utvikling av vinkelhastighet

På Tabell 5 er det fremstilt endringer mellom pre-, mid-, og post-test for maksimale vinkelhastigheter i fleksjon og ekstensjon på den submaksimale laktatprofil testen. Det er kun et signifikant funn på vinkelhastighet. Venstre ankelledd har en signifikant økning i vinkelhastighet i ekstensjonsfasen fra pre-test til mid-test (P=0,027).



**Tabell 5:** Utvikling av leddvinkler målt i grader ( $\omega$ ) mellom pre-, mid-, og post-test.**Submaksimal laktatprofil test**

	Pre-test		Mid-test		Post-test	
	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre
<i>Maksimal vinkelhastighet skulder (<math>\omega</math>)</i>						
Fleksjon	131,1 ± 27,2	158,3 ± 40,6	150,1 ± 37,3	160,8 ± 51,1	153,1 ± 34,0	158,4 ± 40,3
Ekstensjon	174,0 ± 54,8	202,5 ± 71,3	173,9 ± 41,3	207,2 ± 79,6	178,3 ± 22,7	216,1 ± 52,7
<i>Maksimal vinkelhastighet albue (<math>\omega</math>)</i>						
Fleksjon	395,4 ± 44,6	416,5 ± 76,2	382,5 ± 73,7	354,9 ± 63,3	398,1 ± 87,5	352,4 ± 58,0
Ekstensjon	285,4 ± 48,7	320,1 ± 72,7	278,1 ± 47,8	309,3 ± 59,0	313,8 ± 125,3	266,8 ± 78,2
<i>Maksimal vinkelhastighet hofte (<math>\omega</math>)</i>						
Fleksjon	158,8 ± 30,6	136,4 ± 31,2	150,4 ± 33,2	134,2 ± 23,6	153,8 ± 26,3	135,2 ± 24,5
Ekstensjon	119,1 ± 27,2	124,8 ± 27,0	118,6 ± 23,0	114,1 ± 27,8	135,4 ± 39,5	135,0 ± 41,3
<i>Maksimal vinkelhastighet kne (<math>\omega</math>)</i>						
Fleksjon	202,9 ± 64,4	183,8 ± 59,4	197,49 ± 61,0	175,3 ± 42,6	170,2 ± 34,4	165,7 ± 57,7
Ekstensjon	181,1 ± 29,5	164,9 ± 36,0	170,5 ± 39,4	151,7 ± 30,4	171,5 ± 26,4	162,1 ± 30,9
<i>Maksimal vinkelhastighet ankel (<math>\omega</math>)</i>						
Fleksjon	345,7 ± 52,6	345,6 ± 104,0	405,2 ± 102,4	445,2 ± 92,3	383,4 ± 95,1	371,3 ± 77,9
Ekstensjon	268,6 ± 56,0	230,0 ± 62,1	248,5 ± 62,2	271,6 ± 58,0*	263,4 ± 60,7	263,6 ± 34,5

\*Signifikant forskjellig fra pre-test (\*=P<0.05). #Signifikant forskjellig fra mid-test (#=P<0.05).

### 3.3.1 Korrelasjonsanalyser

Det ble gjennomført en korrelasjonsanalyse mellom resultatene av kinematiske variabler (leddvinkler og vinkelhastighet) opp imot både arbeidsøkonomi (Tabell 6) og sykluslengde (Tabell 7) målt på den submaksimale laktatprofil testen. Mellom pre-test og post-test ble det funnet høy negativ korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og ekstensjon av både høyre ( $r=-0,85$ ) og venstre ( $r=-0,75$ ) skulderledd, i tillegg til høy negativ korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og maksimal fleksjon av venstre skulder ( $r=-0,78$ ). Fra pre- til post-test var det også høy korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og min. fleksjon av leddvinkel i høyre albue ( $r=0,71$ ). Fra pre- til mid-test ble det funnet høy korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og vinkelhastighet i ekstensjonsfasen av venstre kneledd ( $r=0,72$ ). Mellom mid-test og post-test ble det funnet høy negativ korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og fleksjon av høyre hofteledd ( $r=-0,71$ ) og mellom arbeidsøkonomi og vinkelhastighet i ekstensjonsfasen av høyre skulderledd ( $r=-0,83$ ). Mellom mid- og post-test ble det også funnet

høy korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og vinkelhastighet i ekstensjonsfasen av høyre hoftledd ( $r=0,7$ ).

Der det ble sett på sammenhengen mellom utviklingen av sykluslengde og kinematiske variabler ble det også funnet noen sammenhenger. Fra pre-test til mid-test var det høy negativ korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og min. fleksjon både i venstre albueledd ( $r=-0,85$ ) og høyre kneledd ( $r=-0,83$ ). Og det ble funnet høy korrelasjon mellom sykluslengde og vinkelhastighet i fleksjonsfasen av høyre hoftledd fra mid-test til post-test ( $r=0,82$ ). Alle r-verdier i dette kapittelet er statistisk signifikante ( $P<0,05$ ).

**Tabell 6:** Korrelasjonsanalyse av sammenhengen mellom arbeidsøkonomi og kinematiske variabler (leddvinkler og vinkelhastighet). Alle tall er angitt som Pearsons r.

	Pre-test – Mid-test				Mid-test – Post-test				Pre-test – Post-test			
	Leddvinkel		Vinkelhastighet		Leddvinkel		Vinkelhastighet		Leddvinkel		Vinkelhastighet	
	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min
Høyre skulder	0,09	0,04	0,18	0,03	0,25	-0,33	0,07	-0,83*	-0,6	-0,85*	-0,10	-0,33
Venstre skulder	0,41	0,29	0,50	-0,03	-0,20	-0,40	-0,06	-0,58	-0,78*	-0,75*	-0,47	0,06
Høyre albue	-0,17	-0,25	-0,22	0,10	-0,12	0,16	-0,31	-0,01	0,32	0,71*	-0,20	0,29
Venstre albue	-0,43	-0,13	-0,28	0,19	0,29	0,30	0,32	-0,42	0,58	0,32	0,22	-0,23
Høyre hofte	-0,25	-0,17	-0,38	-0,50	-0,71*	0,05	-0,53	0,70*	-0,50	-0,16	0,07	0,24
Venstre hofte	-0,27	-0,40	-0,03	-0,57	-0,22	0,44	-0,59	0,61	-0,29	-0,04	-0,35	0,22
Høyre kne	-0,34	-0,32	-0,19	0,59	-0,66	-0,63	0,39	-0,66	-0,50	-0,66	0,35	-0,49
Venstre kne	-0,31	-0,42	-0,44	0,72*	-0,54	0,31	-0,62	-0,09	-0,15	0,13	-0,42	0,09
Høyre ankel	0,43	0,06	-0,30	0,11	0,04	-0,06	-0,08	-0,26	-0,42	0,05	0,06	0,07
Venstre ankel	-0,03	0,07	-0,35	0,25	-0,21	0,14	-0,14	0,20	0,13	0,29	-0,13	0,39

\*stor korrelasjon ( $r>0,7$ ), og signifikant sammenheng ( $*P<0,05$ )

**Tabell 7:** Korrelasjonsanalyse av sammenhengen mellom sykluslengde og kinematiske variabler (leddvinkler og vinkelhastighet). Alle tall er angitt som Pearsons r.

	Pre-test – Mid-test				Mid-test – Post-test				Pre-test – Post-test			
	Leddvinkel		Vinkelhastighet		Leddvinkel		Vinkelhastighet		Leddvinkel		Vinkelhastighet	
	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min
Høyre skulder	-0,12	-0,31	-0,33	0,04	-0,50	-0,27	-0,08	0,61	0,14	0,13	-0,18	0,13
Venstre skulder	0,06	0,10	-0,04	-0,04	-0,07	-0,24	-0,14	0,28	0,54	0,31	0,19	-0,08
Høyre albue	0,06	-0,64	-0,17	-0,08	0,24	-0,19	-0,01	0,01	-0,33	-0,35	-0,54	0,38
Venstre albue	-0,12	<b>-0,85*</b>	0,10	-0,25	-0,03	0,24	-0,44	0,38	-0,34	-0,61	-0,06	0,00
Høyre hofte	0,05	-0,20	0,29	-0,25	0,20	-0,39	<b>0,82*</b>	-0,45	0,49	-0,10	0,05	-0,41
Venstre hofte	0,43	0,30	0,21	-0,05	0,37	0,46	0,32	-0,17	0,45	-0,27	0,17	-0,41
Høyre kne	-0,28	<b>-0,83*</b>	0,51	0,24	0,12	-0,26	0,00	0,25	-0,06	-0,31	0,01	0,44
Venstre kne	0,21	-0,26	0,45	0,09	0,40	-0,55	0,40	-0,45	-0,24	-0,59	0,06	0,58
Høyre ankel	-0,07	-0,65	0,49	0,24	-0,62	-0,67	0,31	0,09	0,31	-0,38	0,33	0,46
Venstre ankel	0,42	-0,30	0,28	0,16	-0,50	-0,64	0,26	-0,19	0,23	-0,23	0,46	-0,30

\*stor korrelasjon ( $r > 0,7$ ), og signifikant sammenheng (\* $P < 0,05$ )

## 4.0 Diskusjon

Formålet med denne studien var å undersøke effekten av en seks-måneders treningsperiode på  $VO_{2peak}$ , arbeidsøkonomi og kinematiske variabler i dobbeldans på rulleski. Med hovedfokus på om det er sammenheng mellom endring i arbeidsøkonomi og endring på kinematiske variabler. De viktigste funnene i denne undersøkelsen var: (1) Det er en signifikant sammenheng mellom utvikling av bedre arbeidsøkonomi og utvikling av større ekstensjon i skulderleddet gjennom en seks-måneders treningsperiode. (2) Det ble funnet en signifikant sammenheng mellom forbedring av arbeidsøkonomi og økning av min. fleksjon i høyre albueledd over tid. (3) Sykluslengden øker signifikant fra pre-test til post-test, og syklushastigheten har en signifikant nedgang mellom pre-test og post-test.

Selv om denne undersøkelsen er gjort på rulleski, som er mye brukt som treningsmetode hos langrennsløpere, er det også en egen idrett. Så resultatene i dette studiet kan bli sett opp imot prestasjon i rulleski. Men tidligere forskning viser at sportsspesifikke tester i laboratoriet på tredemølle med rulleski ved både klassisk og skøyting kan sammenlignes med prestasjon på snø (Sandbakk et al., 2011; Sandbakk et al., 2016), og laboratorietester har blitt brukt for å

skille utøvere på ulike prestasjonsnivå (Sandbakk et al., 2011; Sandbakk et al., 2016). Derfor vil resultatene i denne undersøkelsen også være relevant for prestasjon på snø.

#### ***4.1.1 Utvikling av arbeidsøkonomi og $VO_{2peak}$***

I langrenn har det lenge vært vanlig å bruke det maksimale oksygenopptaket ( $VO_{2max}$ ) som et mål på fysiologisk kapasitet (Haugen et al., 2018; Ingjer, 1992; Saltin and Astrand, 1967; Tønnessen et al., 2015). Og  $VO_{2max}$  er den enkeltstående fysiologiske faktoren som reflekterer prestasjon best (Sandbakk & Tønnesen, 2012). Men det er selvsagt flere faktorer enn  $VO_{2max}$  som påvirker prestasjon, og arbeidsøkonomi har de senere årene blitt brukt som et mål på prestasjon som tar hensyn til både fysiologiske og mekaniske parametere (Sandbakk et al., 2010; Sandball et al., 2012). I denne undersøkelsen er det ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom  $VO_{2peak}$  og testtidspunkt, men ut ifra Figur 2 ser vi at den har en liten samlet nedgang fra pre-test til post-test. Dette funnet er ikke så uventet, da deltakerne i studien fra før er godt trente idrettsutøvere med bakgrunn fra andre utholdenhetsidretter og dermed har en godt utviklet  $VO_{2peak}$  kapasitet fra tidligere. Men det blir funnet en signifikant økning i arbeidsøkonomi fra pre-test til post-test som kan tyde på at utøverne har hatt en fremgang i prestasjon selv om de ikke har økning i  $VO_{2peak}$ . Noe som støttes av tidligere studier, der det har blitt indikert at arbeidsøkonomien er forskjellig mellom langrennsløpere på ulike prestasjonsnivå (Sandbakk et al., 2010; Millet et al., 2003), og at høy arbeidsøkonomi kan være sterkt signifikant for suksess i langrenn (Sandbakk et al., 2010).

#### ***4.1.2 Utvikling av kinematiske variabler***

Det er i denne undersøkelsen funnet at sykluslengden øker signifikant fra pre-test til post-test, og syklushastigheten har en signifikant nedgang mellom pre-test og post-test. I tidligere studier er det funnet ut at de beste langrennsløperne ofte har en skiteknikk med lengre sykluslengde og lavere syklushastighet enn langrennsløpere på et lavere nivå (Sandbakk et al., 2010; Sandbakk & Holmberg, 2017). En begrunnelse til dette kan være at det er forbedret teknikk og/eller styrke har potensiale til å føre til lengre sykluslengde og høyere effektivitet, og både effektivitet og prestasjon vil være sterkt påvirket av teknikk og teknikkspesifikk styrke (Stöggl et al., 2007; Sandbakk et al., 2010). Det har tidligere blitt funnet ut at teknikk påvirker sykluskarakteristikker og arbeidsøkonomi, men det har aldri tidligere blitt sett på

spesifikt hva innen teknikken som gjør at sykluslengden er større og syklushastigheten lavere hos langrennsløpere på et høyt nivå. Derfor er det i denne studien blitt undersøkt om leddvinkler og vinkelhastighet endrer seg samtidig som arbeidsøkonomi og syklus karakteristikk endrer seg.

Det ble gjort noen signifikante funn på utvikling av leddvinkler og vinkelhastighet. Min. fleksjon i venstre albuevinkel blir signifikant større fra pre-test til post-test, min. fleksjon i høyre albuevinkel øker også, men akkurat ikke signifikant. Siden overkroppsarbeidet i dobbeldans og staking er omtrent likt, kan dette funnet ses i sammenheng med tidligere studier som er gjort på biomekanikk i staking, der det er vist at utøverne som presterer best har større min. fleksjon av albueleddet en utøverne på et lavere nivå (Holmberg et al., 2005; Smith et al., 1996). De har i tillegg funnet at vinkelhastigheten i albueleddet øker ved fleksjon (Holmberg et al., 2005; Smith et al., 1996). I denne undersøkelsen er det kun funnet en signifikant økning av vinkelhastighet. Noe av grunnen til det kan være at alle testene er gjennomført med samme belastning som gjør at de må legge mindre kraft i hvert tak når de går bedre teknisk og får bedre balanse. Gjennom økt sykluslengde og synkende syklushastighet kan vi si at teknikken har blitt bedre, og bevegelsene går også litt senere siden hastigheten er konstant. Det ville vært interessant og sett på utviklingen av vinkelhastighet på en  $VO_{2peak}$  test der de har maksimal innsats i hvert tak mot slutten av testen. Det ble også funnet en signifikant økning av skulderekstensjon på venstre side fra mid-test til post-test, det var også økninger i skulderekstensjon på begge sider fra pre-test til post-test, men verdiene var ikke signifikante. Disse funnene kan også sees i sammenheng med økningen av sykluslengde og nedgangen av syklushastighet, når man har en større ekstensjon av skulderleddet vil arbeidsveien bli lengre som en følge av at man har bedre tid til hver syklus.

Det ble også funnet noen signifikante funn på underkroppen, de mest interessante funnene ble funnet på ankene der det var signifikant nedgang av maksimal fleksjon i høyre ankelledd fra pre-test til mid-test, og signifikant nedgang av maksimal ekstensjon på venstre ankelledd fra mid-test til post-test, i tillegg ble de funnet en signifikant økning av vinkelhastighet i ekstensjonsfasen på venstre ankelledd. Endringene i ankelleddvinkler på både høyre og venstre side viser at både ekstensjons-, og fleksjonsfasen blir kortere, noe av årsaken til dette kan være at de har fått bedre balanse og stiver av ankelleddet. Men som vi ser på tallene fra Tabell 4 varierer verdiene ganske mye mellom testtidspunktene, så vanskelig å trekke noen klare slutninger. Det er også vanskelig å trekke noen slutninger i forhold til at

vinkelhastigheten øker i ekstensjonsfasen på venstre ankelledd. Men økende vinkelhastighet i ankelleddet kan tyde på større akselerasjon i hvert fraspark, som også kan være en medvirkende faktor til den økende sykluslengden. Det siste funnet var at min. fleksjon i venstre hofteldd ble signifikant mindre fra mid-test til post-test, i praksis betyr det at hoftelddet strekkes mer ut mellom hver syklus. Det kan også komme av at de gjennom synkende syklushastighet og økende sykluslengde får bedre tid til å fullføre hvert fraspark med full strekk i hoftelddet.

#### ***4.2.1 Sammenheng mellom arbeidsøkonomi og kinematikk***

Gjennom korrelasjonsundersøkelsen, der det ble sett på sammenhengen mellom arbeidsøkonomi og kinematiske variabler (leddvinkler og vinkelhastighet), og sykluslengde og kinematiske variabler (leddvinkler og vinkelhastighet), ble det funnet flere høye korrelasjoner.

Fra pre-test til post-test ble det funnet en høy negativ korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og fleksjon av høyre skulderledd. Fra pre- til mid-test ble det funnet høy korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og vinkelhastighet i ekstensjonsfasen av venstre kneledd, og det ble funnet høy negativ korrelasjon mellom utviklingen av sykluslengde og min. fleksjon i venstre albueledd og høyre kneledd. Mellom mid-test og post-test ble det funnet høy korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og vinkelhastighet i ekstensjonsfasen av høyre hofteldd, og det ble funnet høy korrelasjon mellom sykluslengde og vinkelhastighet i fleksjonsfasen av høyre hofteldd. I tillegg til høy negativ korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og maksimal fleksjon av høyre hofteldd og negativ utvikling av vinkelhastigheten i ekstensjonsfasen av høyre skulderledd. De ovennevnte funnene har alle stor korrelasjon, og sier noe om at det er flere sammenhenger mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og sykluslengde opp imot utvikling av leddvinkler og vinkelhastigheter. Men det er spesielt to funn som skiller seg ut som interessant i korrelasjonsanalysene, og det er i albue, og skulderleddet.

Det første funnet er at det var stor korrelasjon mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og min. fleksjon i høyre albuevinkel, da vi vet at både arbeidsøkonomien økte signifikant mellom pre- og post-test, og min. fleksjon i høyre albuevinkel økte også fra pre- til post-test, men akkurat ikke signifikant. Dette støttes også av tidligere studier som er gjort på biomekanikk i staking, der det er vist at utøverne som presterer best har større min. fleksjon av albueleddet en utøverne på et lavere nivå (Holmberg et al., 2005; Smith et al., 1996). I deres studie ble det

ikke målt effektivitet, men deltakerne i studien var delt inn i to grupper inndelt etter prestasjonsnivå for å kunne si noe om forskjeller mellom de som presterer bra kontra de som presterer dårligere.

Det siste funnet er på skulderleddet, der vi finner store og signifikante negative korrelasjoner fra pre-test til post-test mellom utviklingen av arbeidsøkonomi og ekstensjon av både høyre og venstre skulderledd, i tillegg til høy negativ korrelasjon mellom arbeidsøkonomi og maksimal fleksjon av venstre skulderledd. Da det også er funnet en signifikant økning av skulderekstensjon på venstre side fra mid-test til post-test, i tillegg til økninger av skulderekstensjon fra pre-test til post-test som akkurat ikke er signifikante. Grunnen til at det blir negative korrelasjoner i dette tilfellet er at ekstensjon av leddvinkler har negativ verdi som vist i Figur 1. Denne sammenhengen indikerer at en økning av arbeidsøkonomien i dobbeldans på rulleski henger sammen med at utøverne har en økning av ekstensjonsfasen i skulderleddet, som også kan være en faktor til at sykluslengden har økt. Dette er litt motstridende i forhold til det Smith et al. (1996) fant på staking, der skulderekstensjon var den samme hos de beste utøverne og de som presterte litt dårligere.

En begrensning av denne studien er at det er noe få forsøkspersoner, og det kan ha innvirkning på at det ikke er så mange signifikante verdier som det kunne vært om det hadde vært flere forsøkspersoner i dette studiet.

## **5.0 Videre studier**

Denne studien tar for seg effekten av en seks-måneders treningsperiode på  $VO_{2peak}$ , arbeidsøkonomi og kinematiske variabler, med spesielt fokus på leddvinkler og vinkelhastighet på en submaksimal laktatprofil test. Men i resultatene finner vi liten utvikling av vinkelhastighet, og for å gå godt teknisk i dobbeldans på ski kan man tenke seg at større hastighet i bevegelsene er positivt for prestasjon. Som det er spekulert i tidligere i oppgaven, kan noe av grunnen til at vi ikke finner utvikling i vinkelhastigheter være at alle testene foregår på samme belastning, og siden syklushastigheten går ned er det ikke mulig å oppnå høyere vinkelhastighet uten at farten går opp. Derfor ville det vært interessant og gjøre en undersøkelse der hastigheten og intensiteten er høyere, for eksempel på en  $VO_{2peak}$  test, for å kunne se om det kan være sammenheng mellom vinkelhastighet og arbeidsøkonomi. I tillegg

er begrensningen på denne studien at det er litt få forsøkspersoner, så en senere studier kan inkludere flere forsøkspersoner for å lettere kunne se signifikante verdier.

## **6.0 Konklusjon**

Ut ifra tidligere studier som har funnet at økning av sykluslengde og nedgang i syklushastighet er sammenhengende med høy arbeidsøkonomi og god prestasjon hos langrennsløpere der det har blitt pekt på at teknikk og teknikkspesifikk styrke har hatt stor påvirkning. Men det er tidligere ikke blitt gjort studier som har sett på hvilke deler av teknikken som eventuelt påvirker arbeidsøkonomi og syklus karakteristikk, og ingen studier som har sett på disse endringene over tid. Derfor var det interessant å se hvordan leddvinkler og vinkelhastigheter kunne påvirke arbeidsøkonomi over tid. Det ble funnet en signifikant sammenheng mellom bedre arbeidsøkonomi og større ekstensjon av skulderleddet over en seks-måneders treningsperiode, i tillegg ble det funnet en signifikant sammenheng mellom forbedring av arbeidsøkonomi og økning av min. fleksjon i høyre albueledd over tid. Sykluslengden øker signifikant, mens syklushastigheten synker signifikant fra pre-test til post-test, samtidig som arbeidsøkonomien øker.

## **7.0 Etterord**

Jeg vil gjerne takke min veileder Roland van den Tillaar ved Nord universitet for hjelpen jeg har fått med denne oppgaven. Jeg vil også rette en takk til Team China Meråker for at jeg fikk gjennomføre dette prosjektet, og til all hjelp med innsamling av fysiologiske data, en spesielt stor takk til Rune Talsnes for hjelp med fysiologiske data og gode tips på veien. Og til slutt en takk til alle utøverne som deltok.



## Litteraturliste

- Ainegren, M., Carlsson, P., Tinnsten, M., & Laaksonen, M. S. (2013). Skiing economy and efficiency in recreational and elite cross-country skiers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(5), 1239-1252.
- Andersson, E., Björklund, G., Holmberg, H. C., & Ortenblad, N. (2017). Energy system contributions and determinants of performance in sprint cross-country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(4), 385-398.
- Bilodeau, B., Boulay, M. R., & Roy, B. (1992). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(8), 917-925.
- Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M., & Sandbakk, Ø. (2015). Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 10(7), 873-880.
- Carter, J., & Jeukendrup, A. E. (2002). Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *European Journal of Applied Physiology*, 86(5), 435-441.
- Di Prampero, P. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International journal of sports medicine*, 7(2), 55.
- Fallowfield, J. L., Hale, B. J., & Wilkinson, D. M. (2005). *Using statistics in sport and exercise science research*. Chichester, England: Lotus Pub.
- Foss, Ø., & Hallen, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *International journal of sports medicine*, 26(07), 569-575.
- Haddad, M., Stylianides, G., Djaoui, L., Dellal, A., & Chamari, K. (2017). Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Front Neurosci*, 11, 612.
- Haugen, T., Paulsen, G., Seiler, S., & Sandbakk, Ø. (2018). New records in human power. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 678-686.
- Haugnes, P., Kocbach, J., Luchsinger, H., Ettema, G., & Sandbakk, Ø. (2019). The Interval-Based Physiological and Mechanical Demands of Cross-Country Ski Training. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 1-7.

- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E., & Müller, E. (2005). Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(5), 807-818.
- Hughson, R. L. (2009). Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 34(5), 840-850.
- Karlsson, Ö., Gilgien, M., Gloersen, Ø. N., Rud, B., & Losnegard, T. (2018). Exercise Intensity During Cross-Country Skiing Described by Oxygen Demands in Flat and Uphill Terrain. *Frontiers in Physiology*, 9, 846.
- Losnegard, T. (2019). Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology*, 119(8), 1675-1690.
- Ingjer, F. (1992). Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: A longitudinal study. *Journal of Sports Sciences*, 10(1), 49-63.
- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., Buckwalter, J. B., & Clifford P. S. (1998a). Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of roller skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(5), 755–762.
- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., & Clifford, P. S. (1998b). Poling forces during roller skiing: effects of grade. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(11), 1637–1644
- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., & Clifford, P. S. (1998c). Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(11), 1645–1653.
- Millet, G. P., Tronche, C., Fuster, N., & Candau, R. (2002). Level ground and uphill cycling efficiency in seated and standing positions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(10), 1645-1652.
- Millet, G. P., Boissiere, D., & Candau, R. (2003). Energy cost of different skating techniques in cross-country skiing. *Journal of Sports Sciences*, 21(1), 3-11.
- Olympiatoppen. (2007, 17. september). Arbeidskrav i langrenn. Hentet fra <https://www.olympiatoppen.no/fagstoff/treningsplanlegging/arbeidskrav/langrenn/page3605.html>
- Rietjens, G., Kuipers, H., Kester, A., & Keizer, H. (2001). Validation of a computerized metabolic measurement system (Oxycon-Pro®) during low and high intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 22(04), 291-294.
- Saltin, B., and Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.

- Sandbakk, Ø., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2010). Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *European Journal of Applied Physiology*, *109*(3), 473-481.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., Leirdal, S., Jakobsen, V., & Holmberg, H. C. (2011). Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(6), 947-957.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G., & Holmberg, H. C. (2012). The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(8), 2829-2838.
- Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2012). *Den norske langrennsboka*. Aschehoug.
- Sandbakk, Ø., Hegge, A. M., & Ettema, G. (2013). The role of incline, performance level, and gender on the gross mechanical efficiency of roller ski skating. *Frontiers in Physiology*, *4*, 293.
- Sandbakk, Ø., Hegge, A. M., Losnegard, T., Skattebo, Ø., Tønnessen, E., & Holmberg, H. C. (2016). The Physiological Capacity of the World's Highest Ranked Female Cross-country Skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(6), 1091-1100.
- Sandbakk, Ø., & Holmberg, H. C. (2017). Physiological Capacity and Training Routines of Elite Cross-Country Skiers: Approaching the Upper Limits of Human Endurance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(8), 1003-1011.
- Smith, G. A., Fewster, J. B., & Braudt, S. M. (1996). Double poling kinematics and performance in cross-country skiing. *Journal of Applied Biomechanics*, *12*(1), 88-103.
- Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Coyle, E. F. (1992). Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *International Journal of Sports Medicine*, *13*(05), 407-411.
- Sjödin, B., Jacobs, I., & Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *49*(1), 45-57.
- Stöggl, T., Lindinger, S., & Mueller, E. (2007). Evaluation of an upper-body strength test for the cross-country skiing sprint. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *39*(7), 1160-1169.
- Stöggl, T. L., & Müller, E. (2009). Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(7), 1476-1487.

- Tønnessen, E., Haugen, T. A., Hem, E., Leirstein, S., & Seiler, S. (2015). Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 10(7).