

Magne Lund Hansen

Hva er den optimale klassiske teknikken i bratt motbakke?

En sammenligning av diagonalgang og staking i bratt
motbakke hos elite langrennsløpere

Masteroppgave i
Seksjon for fysisk prestasjonsevne
Norges idrettshøgskole, 2018

Sammendrag

Innledning: Klassisk langrenn består av del-teknikker som benyttes i ulik grad basert på hastighet, terreng og treningsstatus hos løpere. Staking er tidligere vist å være mest energieffektivt i flatt terreng og høy hastighet, mens diagonalgang er vist mest effektivt i motbakkene. De siste årene har det vært en revolusjon i bruken av staking i konkurranselangrenn der løpere i dag benytter staking i terreng som tidligere diagonalgang ble benyttet. Videre har dette medført ulike typer staketeknikker basert på utøvernes hastighet og helning på terrenget, med en utpreget forskjell mellom staking i flatt (STA_{flatt}) og motbakke (STA_{mot}). Hovedformålet med prosjektet var å undersøke prestasjon og fysiologiske forskjeller mellom diagonalgang (DIA) og staking i bratt motbakke. Videre ble det sammenlignet biomekaniske og fysiologiske faktorer mellom STA_{flatt} og STA_{mot} med likt ytre arbeid.

Metode: Tolv mannlige elite langrennsløpere ble rekruttert (23 ± 5 år, 180 ± 5 cm, 73 ± 6 kg, $78,7 \pm 3,7$ ml·kg⁻¹·min⁻¹) og de gjennomførte fysiologiske-, biomekaniske- og prestasjonstester på rulleskimølle. Det ble gjennomført 3 submaksimale (sub) drag à 5 min ved staking på 1° og 8° samt diagonalgang på 8°. I tillegg ble det gått en prestasjonstest på 3,5 min ved alle stilartene.

Resultater: DIA gav 11 % bedre prestasjon, 7 % høyere $VO_{2\text{peak}}$ og 15 % lavere O_2 -kostnad enn STA_{mot} på lik hastighet og helning. STA_{flatt} og STA_{mot} gav lik $VO_{2\text{peak}}$. Ved lavere sub hastighet var det signifikant lavere O_2 -kostnad for STA_{flatt} enn for STA_{mot} , men forskjellen ble utlignet ved økende hastighet. STA_{mot} hadde lengre kontakttid, og en mer kompakt stilling i overkroppen enn STA_{flatt} . Det var også en tydeligere pumpebevegelse i underekstremiteten for STA_{mot} enn STA_{flatt} .

Konklusjon: DIA gir høyere $VO_{2\text{peak}}$, lavere O_2 -kostnad og bedre prestasjon på en 3,5 minutters prestasjonstest enn STA_{mot} ved 8° helning. Det er klare tekniske forskjeller mellom STA_{mot} og STA_{flatt} , men ingen forskjell i $VO_{2\text{peak}}$ eller Gross Efficiency (GE).

Forord

Som aktiv skiløper har det vært utrolig spennende å kunne fordype seg inn i idretten gjennom å skrive denne masteroppgaven om langrenn. Det har vært et lærerikt år hvor jeg har hatt gleden av å diskutere med og lære av mange kunnskapsrike mennesker.

Først og fremst må jeg få takke alle deltakerne som gjorde det mulig å gjennomføre dette prosjektet. Dere var alle interessert og kom med gode tilbakemeldinger og innspill som gjorde oppgaven til det den er idag!

Mine veileder, hovedveileder Thomas Losnegard og biveileder Bjarne Rud fortjener en stor takk! Dere har begge vist et stort engasjement for meg som student, og alltid tatt imot meg med godt humør og gode tilbakemeldinger. Jeg setter stor pris på at dere har delt all deres kunnskap med meg, og uten deres hjelp hadde aldri denne oppgaven blitt til!

Takk til Svein Leirstein for opplæring i fysiologiske tester. Stor takk til Øyvind Gløersen, som har hjulpet med alle de biomekaniske datene. Vi har hatt mange fine diskusjoner, og du har virkelig løftet denne oppgaven. Vil også takke Øyvind Skattebo for bra samkjøring inne på laben, og tålmodighet med meg og bråket mitt under testperioden. Du har vært veldig imøtekommen, og alltid svart på ting jeg måtte lure på underveis.

Tusen takk, Vegard Tho for at du har gjort alt du kan for at jeg skal jobbe minst mulig med denne oppgaven. Du har gjort året til en lek! Må også takke Erling Vollan for at du har støtta meg hele veien, og fått meg til å gjøre en best mulig jobb. Min kjæreste Katrine Lange må også få en takk for kritiske spørsmål, mye mas og god støtte.

Til slutt må jeg takke min kjære familie, mor, far og søster for utrolig mye støtte og positive tilbakemeldinger under hele prosessen, samt gjennomlesing av hele oppgaven. Vi har hatt mange fine samtaler, og dere har hjulpet meg mye.

Magne Lund Hansen

NIH, Mai, 2018

Innhold	
Sammendrag.....	3
Forord.....	5
Innhold	7
1.0 Innledning.....	9
1.1 Problemstillinger	11
1.2 Hypoteser	11
2. 0 Teori	12
2.1 Hva bestemmer prestasjon i utholdenhet.....	12
2.1.1 Det maksimale oksygenopptaket	12
2.1.2 Arbeidsøkonomi.....	15
2.2 Biomekanisk perspektiv	16
2.2.1 Temporale karakteristikk.....	16
2.2.2 Biomekanisk beskrivelse	16
2.2.3 Muskelbruk	17
2.2.4 Forskjellen mellom staking flatt og i motbakke	17
2.3 Oppsummering	19
3.0 Metode	20
3.1 Deltakere	20
3.2 Eksperimentelt design.....	20
3.2.1 Tilvenning	20
3.3 Testprosedyre	22
3.3.1 Testdag 1	22
3.3.2 Testdag 2	22
3.4 Kalkuleringer.....	23
3.4.1 Kalkulering av ytre belastning	23
3.4.2 Gross efficiency	23
3.5 Kinematiske målinger.....	23
3.6 Utstyr	24
3.7 Databehandling.....	26
3.8 Statistikk	27
4. Resultater	28
4.1 Submaksimale belastninger	28
4.2 Prestasjonstest.....	29

4.3	Sammenheng mellom VO_{2peak} , GE og prestasjon	31
4.4	Kinematiske og temporale karakteristikk for STA_{flatt} og STA_{mot}	32
4.5	Kraftmålinger	35
5.0	Diskusjon	36
5.1	VO_{2peak} og prestasjon	36
5.2	Effekten av helning på VO_{2peak}	38
5.3	O_2 -kostnad	39
5.4	Staketeknikk.....	40
5.5	Praktiske konsekvenser	42
5.6	Begrensninger ved studien.....	43
6.0	Konklusjon	44
7.0	Referanser	45
	Tabelloversik	52
	Figuroversikt.....	53
	Forkortelser	55
	Vedlegg I	56

1.0 Innledning

Distanser i konkurranselangrenn strekker seg fra 1,2 km opp til 220 km med et stort spekter av hastigheter (2 – 15 m/s) grunnet variasjoner i terrenget (Bolger, Kochbac, Hegge & Sandbakk, 2015). En konkurranseløype i verdenscupen består av omtrentlig en tredjedel stigende, en tredjedel flatt og en tredjedel fallende terreng ("The International Ski Competition Rules: Book II Cross-Country," 2015). Dette stiller store krav til utøverne som må mestre alle typer helning og hastighet. Det konkurreres i to stilarter innen langrenn; fristil og klassisk. For å forflytte seg mest mulig effektivt er hver av de to stilartene delt inn i hovedsakelig tre underteknikker, der underteknikkene benyttes som girsystem. For klassisk langrenn benyttes tradisjonelt staking ved flater terreng og høyere hastighet, dobbeltak med fraspark benyttes i slakere motbakker, mens diagonalgang eller fiskebein benyttes i de bratteste bakkene (Pellegrini, Zoppirolli, Bortolan, Holmberg, Zamparo & Schena, 2013). Valg av underteknikk styres primært av hastigheten til løperne, noe som tilsier at bedre løpere bruker i større grad høyhastighetsteknikken staking (Dahl, Sandbakk, Danielsen & Ettema, 2017; Kvamme, Jacobsen, Hetland & Smith, 2005; Pellegrini et al., 2013). Det er godt dokumentert at en kan oppnå høyere hastighet med staking enn diagonalgang i flatt terreng (Pellegrini et al., 2013;). Hvordan forholdet er ved bratt motbakke, er derimot lite undersøkt.

Langrenn har utviklet seg mye de siste tiårene. Bedre utstyr og løypepreparering, nye konkurranseformer med sprint og fellesstart, samt en endring i løypeprofil har bidratt til økt hastighet under langrennskonkurranser (Losnegard, 2013). Dette har gjort staking til en viktigere del av konkurranselangrenn. Det er blitt vunnet verdenscuprenn på både 15 km og sprint på blanke ski uten smøring, hvor hovedsakelig staking benyttes. I tillegg benyttes blanke ski i majoriteten av konkurransene i langløpscupen Visma ski Classics, som er blitt en svært populær konkurranseform i langrenn det siste tiåret for mange langrennsløpere på høyt internasjonalt nivå. Staking har gått fra å være en underteknikk benyttet i de flate partiene i løypa, til også å benyttes i bratte motbakker. Dette har ført til stor utvikling av staketeknikken, både flatt og i motbakke (Lindinger et al., 2008; Stöggli & Holmberg, 2016). Siden staking i bratte motbakker er et relativt nytt fenomen, er det få studier som sammenligner staking flatt og staking i bratt motbakke. Stöggli &

Holmberg (2016) studerte biomekaniske forskjeller mellom staking flatt og i motbakke, men hadde betydelig ulikhet i ytre belastning. Det er derfor ingen tidligere studier som har sammenlignet fysiologiske og tekniske aspekter ved staking i flatt terreng mot staking i motbakke der det ytre arbeidet er likt.

Langrenn er ansett som et helkroppsarbeid (Calbet, Jensen-Urstad, van Hall, Holmberg, Rosdahl & Saltin, 2004), der ulike delteknikkene gir ulike bevegelser og ulik muskelaktivering (Calbet et al., 2004; Sandbakk, Leirdal & Ettema, 2014). Ved staking skapes all fremdrift gjennom stavene og beina bidrar kun indirekte, mens de bidrar direkte til fremdrift ved de øvrige teknikkene. Overkroppen bidrar derfor med et stort arbeid i stakebevegelsen, mens beina står for den klart største delen av fremdriften ved diagonalgang. Imidlertid viste Stöggl & Holmberg (2016) at staking i motbakke allikevel øker aktiveringen av beina sammenlignet med staking flatt. Samtidig er det vist at økt ytre belastning i staking også øker oksygenopptaket hovedsakelig gjennom økt aktivering av beina (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014). Siden oksygenopptak er sett på som en av de viktigste faktorene for å prestere innen langrenn, kan derfor økt bruk av beina trolig føre til bedre prestasjon. Hvordan tekniske løsninger ved økt stigning påvirker fysiologiske faktorer, som for eksempel energikravet ved staking, er allikevel lite undersøkt.

Det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks}) er sett på som en av de viktigste enkeltfaktorene for prestasjonen innen langrenn (Ingjer, 1991). Tradisjonelt har langrennsløpere testet VO_{2maks} under løping, men de senere år har rulleskimøller gjort det mulig å teste VO_{2maks} i alle de ulike underteknikkene i langrenn. Siden VO_{2maks} synes å være avhengig av muskelmasse involvert i bevegelsen samt ulik muskelaktivering fra over- og underkropp i de ulike del-teknikkene, vil VO_{2maks} for de ulike teknikkene variere (Bergh, Kanstrup & Ekblom, 1976; Åstrand & Saltin, 1961, Calbet et al., 2004). Langrennsløpere oppnår høyest VO_{2maks} i løp eller diagonalgang, mens staking er typisk 10-20 % lavere (Holmberg, Rosdahl & Svedenhag, 2007; Losnegard, Schäfer & Hallén, 2014). Dette kommer trolig av at det er overkroppen og armene som står for en stor del av kraftproduksjonen, mens beina bidrar i noe mindre grad når det stakes flatt (Holmberg et al., 2006; Stöggl & Holmberg, 2016). Lavere VO_{2maks} for staking flatt enn diagonalgang er godt undersøkt, men hvordan denne

forskjellen er ved lik helning i bratt motbakke er uvisst. Den økte aktiveringa av beina sett av Stöggl & Holmberg (2016), kan muligens bidra til at forskjellene i VO_{2maks} mellom staking og diagonal viskes ut i bratt motbakke.

I de fleste studiene av staking er målingene for det meste gjort med relativt lav stigning (ca 3 %), mens diagonalgang er målt bratt (over 10 %). Staking brukes i dag ofte i det terrenget man vanligvis ville gått diagonalgang tidligere. For å øke forståelsen av hvorfor staking brukes med så stor suksess, også i motbakker, ønsket vi derfor å sammenligne fysiologiske parametre og prestasjon mellom staking og diagonal i bratt motbakke ved lik hastighet og helning. Videre ønsket vi å sammenligne arbeidsøkonomi og VO_{2maks} under staking flatt og i motbakke. Ved å addere biomekaniske analyser under staking kunne vi få indikasjoner på om eventuelle fysiologiske forskjeller kunne relateres til tekniske løsninger.

1.1 Problemstillinger

Følgende problemstillinger ble formulert:

(I) Er det forskjeller i O_2 -kostnad, VO_{2peak} og prestasjon mellom staking i motbakke og diagonalgang?

(II) Er det forskjeller i O_2 -kostnad, VO_{2peak} og staketeknikk mellom staking flatt og staking i motbakke ved lik ytre belastning?

1.2 Hypoteser

Følgende hypotese ble formulert fra 1. problemstilling:

H_0 - Det er ingen forskjell i O_2 -kostnad, VO_{2peak} , eller prestasjon mellom staking i motbakke og diagonalgang.

Følgende hypotese ble formulert fra 2. problemstilling:

H_0 - Det er ingen forskjell i O_2 -kostnad, VO_{2peak} eller teknikk mellom staking flatt og staking i motbakke.

2.0 Teori

2.1 Hva bestemmer prestasjon i utholdenhet

Målet i utholdenhetsidretter er å komme raskest mulig fra A til B. Den gjennomsnittlige hastighet en kan holde på den gitte distansen er det som bestemmer prestasjonen i disse idrettene. Energiomsetningen ($J \cdot s^{-1}$) og arbeidsøkonomien ($J \cdot m^{-1}$) er det som påvirker den gjennomsnittlige hastigheten ($m \cdot s^{-1}$) (di Prampero, 2003):

$$\text{Hastighet (} m \cdot s^{-1} \text{)} = \frac{\text{Energiomsetning (} J \cdot s^{-1} \text{)}}{\text{Arbeidsøkonomi (} J \cdot m^{-1} \text{)}}$$

Faktorene som bestemmer energiomsetningen er den største mengden oksygen musklene kan ta opp og omsette (VO_{2maks}), utnyttelsen av VO_{2maks} over tid (Utnyttingsgrad) og den anaerobe kapasiteten. Arbeidsøkonomi er definert som energiomsetning per distanse og måles tradisjonelt som O_2 -kostnad ($mL \cdot m^{-1}$). En forbedring i én eller flere av disse faktorene vil føre til økt prestasjonsevne (Losnegard, 2013):

$$\text{Prestasjon (hastighet)} = \frac{VO_{2maks} \cdot \text{Utnyttingsgrad} + \text{Anaerob kapasitet}}{O_2 - \text{kostnad}}$$

Langrennkonkurranser varer fra ~3 min til flere timer. Uansett konkurranseform stilles det store krav til høy energiomsetning per tidsenhet (Ingjer, 1991, Losnegard & Hallén 2014). Grunnet den store variasjonen i konkurransetid vil forholdet mellom aerob og anaerobt bidrag variere utifra konkurranseform, men selv i de korteste konkurransene bidrar de aerobe prosessene med ~ 75 % av energien (Losnegard, Myklebust & Hallén, 2012).

2.1.1 Det maksimale oksygenopptaket

Det maksimale oksygenopptaket er definert som organismens maksimale evne til å ta opp og omsette oksygen (Bassett & Howley, 2000). Ved maksimal fysisk aktivitet er tilgangen på energi den største begrensningen til muskulaturen. Hastigheten på energiomsetningen bestemmes i stor grad av mengden oksygen tilgjengelig for den arbeidende muskulaturen (Basset & Howley, 2000). VO_{2maks} vil derfor være en av de viktigste faktorene for prestasjon innen utholdenhetsidretter (Saltin & Åstrand, 1967).

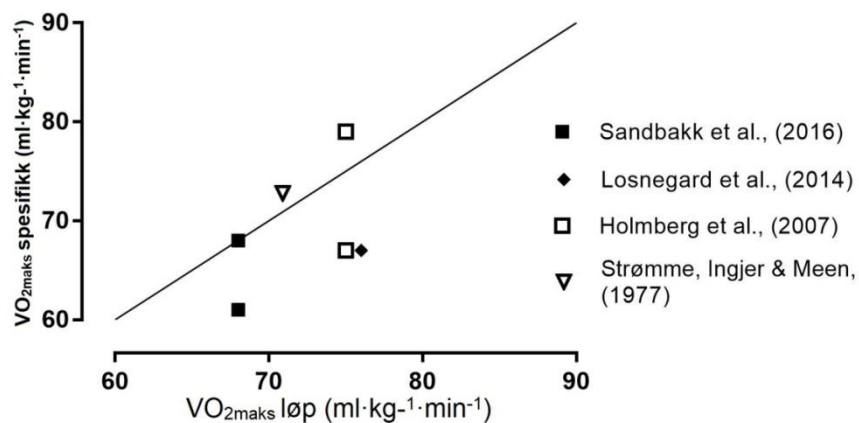
Langrennsløpere er utøvere som måler høyest VO_{2maks} på både kvinne- og herresiden sammenlignet med andre kondisjonidretter (Holmberg, Rosdahl, Svedenhag, 2007; Losnegard & Hallén, 2014; Sandbakk et al., 2016). De høyeste målingene av oksygenopptak er som regel registrert ved løp i motbakke, og størrelsen på aktivert muskelmasse har vist seg avgjørende for VO_{2maks} (Bergh, Kastrup & Ekblom, 1976; Åstrand & Saltin, 1961). Ulike bevegelsesformer, med ulik aktivering av muskelmasse, har vist en variasjon fra 60 - 100 % av VO_{2maks} ved løp (Bergh, Kastrup & Ekblom, 1976; Losnegard et al., 2014; Åstrand & Saltin, 1961). Armarbeid alene har gitt de laveste VO_{2maks} målingene på 60 – 70 % av VO_{2maks} ved løp. Beinarbeid, kombinert arm- og beinarbeid og helkroppsarbeid varierer mellom 80 - 100 % av VO_{2maks} ved løp (Bergh, Kastrup & Ekblom, 1976; Losnegard et al., 2014; Åstrand & Saltin, 1961).

Oksygenopptaket kan deles inn i to hoveddeler, de sentrale og de perifere prosessene. De sentrale prosessene starter med gassutveksling som skjer i lungene mellom alveolene og kapillærene. Oksygen diffunderer over til kapillærene og karbondioksid diffunderer over til alveolene. Oksygen transporteres til hjertet via blodbanen, og pumpes ut fra venstre hjertekammer ut til alle celler i kroppen via arterier og arterioler. Arteriolenene er med på å regulere blodstrømmen til de delen av kroppen som trenger mest oksygen, ved å utvides/stramme seg inn. Fra arteriolenene fordeles blodet til kapillærene som omgir alle kroppens celler, også muskelcellene. Kapillærene er starten på det perifere systemet. Her foregår gassutveksling nr. 2. Oksygen diffunderer fra kapillærene til cellene, og karbondioksid diffunderer fra cellene til kapillærene. I cellene er det mitokondriene som står for hoveddelen av energiomsetningen. I muskelceller er det derfor mange mitokondrier. Det oksygenfattige blodet strømmer så ut til venene, hvor det blir pumpet tilbake til hjertet ved hjelp av veneklaffene og muskelvenepumpa (Dahl, 2007).

Hovedbegrensningen til oksygenopptaket er de sentrale faktorene og da hovedsakelig hjertets evne til å pumpe blod og blodets transportkapasitet (Basset, JR. & Howley, 2000). Lungene og gassutvekslingen kan også være begrensende for godt trente utøvere med høyt oksygenopptak, men dette er i liten grad trenbart (Powers, Lawler, Dempsey, Dodd & Landry, 1989). Ved kombinert intensivt arm- og beinarbeid klarer ikke hjertet å forsyne all arbeidende muskulatur tilstrekkelig med blod (Andersen & Saltin, 1985; Secher, Clausen, Klausen, Noer & Trapp-Jensen, 1977). Ved staking er det sett en større

økning i blodstrøm til beina enn til armene ved økende intensitet (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014^b. Rud et al., 2014) Rud et al., (2014) fant også at økningen i VO_2 for beina ved økende intensitet skyldtes både økt blodstrøm og økt O_2 -ekstraksjon, mens økningen i VO_2 i armene kun skyldtes økt blodstrøm. De konkluderte med en dårligere ekstraksjonskapasitet i armene enn i beina ved staking. Dette kan forklare lavere VO_{2maks} ved staking, siden armene ”stjeler” noe av blodet til beina, og tar opp mindre O_2 enn hva beina gjør.

Klassisk langrenn består av 3 ulike del-teknikker med stor variasjon i muskelaktivitet og bevegelsesmønstre. Staking brukes tradisjonelt i flatere terreng, diagonalgang i motbakker og dobbeltak med fraspark brukes i slakere motbakker. I staking skapes all fremdrift gjennom stavene, og overekstremiteten arbeider nært opp mot maksimal kapasitet allerede fra 75 % av VO_{2maks} ved løp (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014). Det store bidraget fra overekstremiteten gjør at det er ved staking det måles lavest VO_{2maks} for langrennsløpere, med målinger på ~10 - 15 % av VO_{2maks} ved løp (Holmberg et al., 2007; Losnegard, Schäfer & Hallén, 2014) (Figur 2.1).



Figur 2.1: Tidligere studier målte VO_{2maks} ved staking eller diagonalgang mot VO_{2maks} ved løp. Sandbakk et al., (2016) testet staking og diagonalgang, Losnegard et al., (2014) testet staking, Holmberg et al., (2007) testet staking og diagonalgang, Strømme, Ingjer & Meen, (1977) testet diagonalgang. All data er presentert som gjennomsnitt.

Diagonalgang er en teknikk med underekstremiteten som hovedkilden til fremdrift.

VO_{2maks} ved diagonalgang er ofte nært opptil, og kan også være høyere enn målinger

gjort ved løp (Holmberg et al., 2007, Strømme et al 1977). Det eneste studiet som har sammenlignet fysiologiske faktorer ved staking og diagonalgang i bratt motbakke er Dahl et al., (2017) som sammenlignet staking og diagonalgang med lik helning og hastighet, men kun ved submaksimale belastninger. Det er derimot ikke gjort noen studier av prestasjon og maksimale verdier for staking og diagonalgang når helning og hastighet er lik til tross for at det i dagens langrenn brukes både diagonalgang og staking i bratte motbakker under konkurranser.

2.1.2 Arbeidsøkonomi

Arbeidsøkonomi er definert som mengden energi som kreves for å bevege seg en gitt distanse (di Prampero, 2003). Den oppgis vanligvis som O_2 -kostnad, og kan oppgis som oksygenopptak per meter ($mL \cdot m^{-1}$). En langrennskonkurranse skal, som tidligere beskrevet, bestå av en tredjedel flatt, en tredjedel motbakke og en tredjedel nedoverbakke. Dette setter krav til effektiv bruk av de ulike teknikkene for å oppnå lavest mulig O_2 -kostnad. Staking er sett på som den mest effektive teknikken i flatere terreng og ved høyere hastighet, mens diagonalgang er mest effektiv i lavere hastighet og bratt terreng (Pellegrini et al., 2013). Pellegrini et al., (2013) observerte at staking var mer effektiv enn diagonalgang ved flatt, men økningen i O_2 -kostnad var kraftigere når stigningen økte for staking. Opp til 4° var staking mest effektivt, mens diagonalgang var mer effektivt over 5° . Dette samsvarer med Dahl et al., (2017), som undersøkte staking og diagonalgang ved $2,9^\circ$ og $6,8^\circ$ og $3,5 m \cdot s^{-1}$ og $1,8 m \cdot s^{-1}$. Staking hadde bedre effektivitet, lavere hjerterefrekvens og lavere følt anstrengelse ved $2,9^\circ$, mens ved $6,8^\circ$ var diagonalgang bedre på alle parametere. Tidligere studier har sett mye på forskjeller mellom teknikker ved lik helning og lik hastighet. Det mangler derimot data på hvordan O_2 -kostnaden utvikler seg ved økende hastighet for staking flatt og i bratt motbakke med samme ytre belastning (Watt). Informasjon om dette kan være med på å påvirke hvordan staking benyttes under konkurranser, og hvordan man bør trene på de ulike helningene.

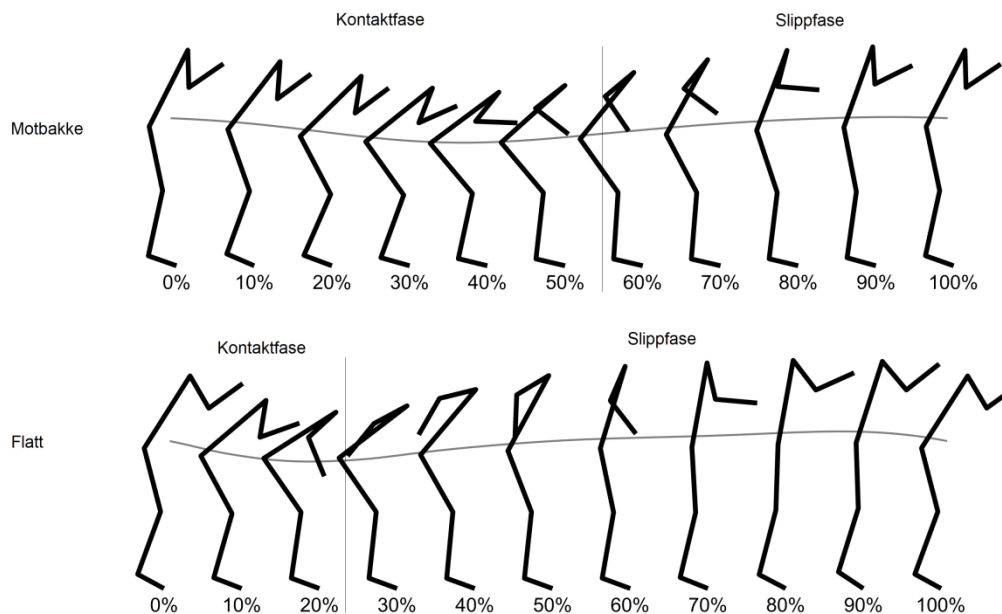
2.2 Biomekanisk perspektiv

2.2.1 Temporale karakteristikk

Hastigheten ved staking styres av sykluslengde og syklusfrekvens. Sykluslengde er distansen mellom to stavissett, mens syklusfrekvens er antallet sykluser per sekund (Hz). Ved økende hastighet har man sett en økning i syklusfrekvensen, mens for sykluslengde er det noe varierende resultater. (Lindinger, Stöggl, Müller & Holmberg, 2008; Nilsson, Tinmark, Halvorsen & Arndt, 2013). Det meste av forskningen viser ingen forandring eller en reduksjon i sykluslengden (Nilsson, Tveit & Eikrehagen, 2004; Nilsson et al., 2013; Stöggl, Müller, Ainegren & Holmberg, 2011). Dette blir forklart med redusert stavkontaktid. Lindinger et al., (2008) så derimot lengre sykluslengde ved økning i hastigheten. De forklarte det med ”den nye” staketeknikken som har utviklet seg gir utøverne mulighet til å skape større kraft gjennom stavene, og dermed en økning i sykluslengde.

2.2.2 Biomekanisk beskrivelse

Ved staking må all kraft komme gjennom stavene, og både over- og underekstremiteten bidrar til kraftutviklingen (Bojsen-Møller, Losnegard, Kemppainen, Vilianen, Kalliokoski, & Hallén, 2010; Calbet, Jensen-Urstad, van Hall, Holmberg, Rosdahl, & Saltin, 2004; Rud, Secher, Nilsson, Smith & Hallén, 2014^a). Stakesyklusen kan deles inn i to faser som sett på Figur 2.2. Kontakttiden er perioden fra stavissettet, til stavene forlater underlaget. Det er i denne delen av bevegelsen det skapes fremdrift. Armene og trunkus arbeider i en synkron og symmetrisk bevegelse mens underekstremiteten bidrar til en oppreist stilling gjennom hele bevegelsen (Holmberg et al., 2006). Gjennom stavtaket senkes massemiddepunktet (COM) samtidig som det forflyttes bakover. Ved tilbakeføringen av armene og COM bidrar underekstremiteten med et aktivt fleksjon- og ekstensjonsmønster i leddene (Holmberg et al., 2006). Det er observert en forberedelsesfase like før stavissettet, hvor stavenes vertikale posisjon heves, en ekstensjon i hofte-, kne- og ankelleddet forekommer og kroppen lenes fremover . Dette bidrar til å skape en høy, fremoverlent posisjon like før stavissett (Holmberg et al., 2006).



Figur 2.2: Illustrasjon av staketeknikk iløpet av en syklus (0-100 %) for flatt og i motbakke Den grå linja som følger bevegelsen er COM. Illustrasjonene er hentet fra analysen i denne studien, og er et snitt fra alle FP (n = 11).

2.2.3 Muskelbruk

Det er i nyere tid godt dokumentert at både over- og underekstremiteten jobber ved staking (Bojsen-Møller et al., 2010; Calbet et al., 2004; Holmberg, Lindinger, Stöggl, Eitzlmair & Müller, 2005; Rud et al., 2014). Holmberg et al., (2005) så en aktiveringskjede gjennom stavtaket ved staking. Først aktiveres buk- og hofte fleksorene, deretter skulderekstensorene som latissimus dorsi, før til slutt albueekstensor ticeps brachii aktiveres. Muskelaktiveringen reduseres så i samme rekkefølge som aktiveringen, med buk- og hoftefleksorene først. Bojsen-Møller et al., (2010) fant stort glukoseopptak i de samme musklene som Holmberg et al., (2005) beskriver, etter staking. De så også en økende aktivering av musklene i trunkus og underekstremiteten ved økende belastning. Dette kan forklares av at musklene i overekstremiteten har nådd et platå i energiproduksjon, noe som krever at musklene i underekstremiteten må bidra i større grad (Bojsen-Møller et al., 2010; Rud et al., 2014).

2.2.4 Forskjellen mellom staking flatt og i motbakke

Staking benyttes i stadig større deler av en langrennskonkurranse. Tidligere var det utelukkende en underteknikk som ble benyttet i de flate partiene av løypa, men i dag

benyttes staking under hele konkurranser (Stöggl & Holmberg, 2016). Wisløff & Helgerud (1998) sammenlignet VO_{2maks} i staking ved fire ulike helninger. De fant signifikant lavere VO_{2maks} ved 7° enn hva de målte ved $3^\circ, 4^\circ, 5^\circ$ og 6° . Det er også observert store forandringer i staketeknikken ved økende helning (Stöggl & Holmberg, 2016). Stöggl & Holmberg (2016) sammenlignet staking ved 1° mot staking ved 7° . De så en mer kompakt posisjon i overkroppen, med armene nærmere brystet for 7° . Det var ingen klar forberedelsesfase og COM var på sitt høyeste nærmere stavissettet ved motbakke (Figur 2.2). Siden tyngdekraften virker i større grad på utøveren ved økende helning, blir syklustiden lavere og frekvensen høyere (Stöggl & Holmberg, 2016). Det er også en forskjell i forholdet mellom kontakttid og flytid. Når en staker i flatt terreng, består 25 % av syklusen av kontakttid. Den korte kontakttiden er da hovedbegrensning for kraftutvikling (Stöggl & Holmberg, 2016). Ved motbakke er derimot 50 % av syklusen kontakttid, og hovedutfordringen er å komme raskt nok tilbake i posisjon før nytt stavgang (Stöggl & Holmberg, 2016). Den forkortede tilbakeføringsfasen fører derfor til en mer oppreist posisjon i overkroppen, og økt bidrag fra underekstremiteten. Stöggl & Holmberg (2016) observerte også større maksimalkraft gjennom stavene, og et senere toppunkt for kraften ved staking i motbakke.

De fleste studiene som har sammenlignet STA_{flatt} og STA_{mot} har derimot ikke hatt lik ytre belastning mellom helningene. Stöggl & Holmberg, (2016) hadde dobbelt så stor ytre belastning (watt) ved motbakke enn ved flat staking. Hastigheten ved STA_{flatt} og STA_{mot} vil naturlig nok være forskjellig. For å sammenligne teknikk mellom de to må det derfor brukes lik relativ intensitet. De to måtene for å få lik relativ intensitet er likt ytre arbeid (watt) eller lik VO_2 . Teknikken ved STA_{flatt} er undersøkt i flere studier, og den forandrer seg ved økende intensitet og hastighet (Pellegrini et al., 2013). Teknikken ved STA_{mot} er derimot lite undersøkt, og det er mer usikkert hvordan den utvikles ved økende intensitet og hastighet. Det trengs derfor mer analyse av teknikken ved STA_{mot} , og sammenligning mot STA_{flatt} ved samme relative intensitet.

2.3 Oppsummering

Klassisk langrenn består av del-teknikker som brukes i ulike deler av terrenget. Staking er mest effektiv i de lettere partiene, mens diagonalgang er mest effektivt i motbakkene (Pellegrini et al., 2013). Til tross for dette er det de siste årene vært en revolusjon i bruken av staking i konkurranselangrenn. I terrenget det tidligere ble gått diagonalgang brukes nå staking i større grad. Grunnen til dette er en forbedring i staketeknikken, bedre utstyr og løypepreparering, samt annerledes løypeprofiler. Det er godt dokumentert at staking er mer effektivt enn diagonalgang i flatt terreng. Med den nye bruken av staking i brattere motbakker vil det derimot være interessant å sammenligne staking og diagonalgang i motbakke.

3.0 Metode

3.1 Deltakere

Tretten mannlige langrennsløpere på nasjonalt og internasjonalt nivå ble rekruttert til prosjektet. Inklusjonskriteriene var mannlige utøvere over 18 år med deltagelse i norgescup eller topp 30 i et renn i langløpscupen Visma Ski Classics. Juniorer måtte være topp 50 i norgescup eller NM for deltagelse. Prosjektet ble godkjent av Lokal etisk komite ved NIH (Søknad: 21-220817) og meldt til NSD (referansenummer: 55262 / 3 / HIT). Prosjektet er gjennomført i henhold til Helsinkideklarasjonen og etter norsk lov. Deltakerne gav skriftlig samtykke før deltagelse i studien (Vedlegg I).

Tabell 3.1: Antropometriske karakteristikk, $VO_{2\text{maks}}$ og Fis-punkter til forsøkspersonene. Data er presentert som gjennomsnitt \pm Standardavvik (SD).

Variabel	Gjennomsnitt \pm SD
Alder (år)	23 \pm 5
Høyde (cm)	180 \pm 5
Vekt (kg)	73 \pm 6
$VO_{2\text{maks}}$ Løp ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	78,7 \pm 3,7
FIS-punkter distanse	81 \pm 36

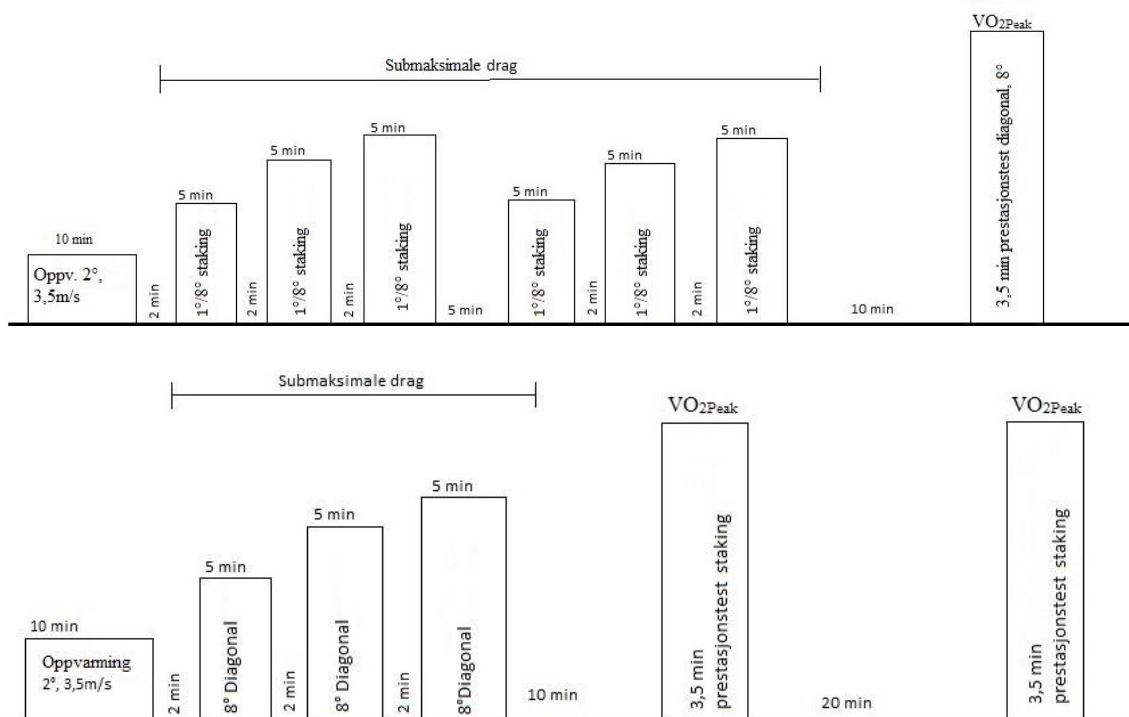
3.2 Eksperimentelt design

Alle tester ble gjennomført på rullskimølle på Norges idrettshøgskole. Testingen foregikk mellom september og desember 2017. Innsamling av alle fysiologiske og kinematiske data ble gjort over 2 testdager for hver forsøksperson (FP). I tillegg hadde hver FP en tilvenningsøkt. Testdagene ble gjennomført innenfor 2 uker for hver enkelt FP.

3.2.1 Tilvenning

Det ble ved hver av de tre øktene gjennomført 10 min standardisert oppvarming for alle FP (2° , $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Etter oppvarming gjennomførte FP et drag på 5 min ved hver av de ulike teknikkene, staking flatt (1°), staking i motbakke (8°) og diagonalgang (8°). De

nevnte stigningene ble beholdt gjennom hele studien. Hastigheten ble bestemt utifra pilottester med mål om å ha en RPE på 13-14. Hastigheten på tilvenningen ble da satt til enten 2,75 watt x kroppsvekt eller 3 watt x kroppsvekt utifra nivå. La-, hjertefrekvens (HF) og Borg skala (RPE; 6-20, Borg, 1982) ble registrert etter hvert drag. Utifra disse dataene ble de tre sub hastighetene satt opp for hver enkelt person. Målet var at det på siste sub skulle oppnås en RPE på 15-16 og La- på 4 – 6 mmol·ml⁻¹. Hastigheten ved DIA ble satt til lik hastighet som STA_{mot}. FP hadde deretter en valgfri økt, så den totale lengden på tilvenningen ble på omtrent 1,5 time for alle.



Figur 3.1: Protokoll for testing av fysiologiske og kinematiske parametre.

3.3 Testprosedyre

3.3.1 Testdag 1

Etter den standardiserte oppvarmingen utførte FP 6 drag à 5 min staking (Figur 3.1), derav tre drag flatt og tre drag i motbakke. Rekkefølge på STA_{flatt} og STA_{mot} ble "counter balanced". Det var 2 min pause mellom dragene hvor La-, HF og RPE ble registrert. Oksygenopptak ble tatt fra 3-5 min. Økningen i belastning mellom sub dragene ble satt til 0,25 watt/kg. Denne ble satt for å gi en forskjell i VO_2 på $\sim 5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Et unntak er den siste økningen på STA_{flatt} for de fire beste FP. Det var da en økning på 0,15 watt/kg for å unngå for høy hastighet. Den gjennomsnittlige belastningen er oppført i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Ytre belastning for de ulike hastighetene. Alle data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.

Drag	STA_{flatt}		$STA_{\text{mot/DIA}}$	
	Watt	Watt/kg	Watt	Watt/kg
1	199 \pm 33	2,7 \pm 0,3	198 \pm 43	2,7 \pm 0,4
2	218 \pm 34	3 \pm 0,3	219 \pm 45	3 \pm 0,4
3	236 \pm 35	3,2 \pm 0,3	238 \pm 46	3,3 \pm 0,4

Ti minutter etter siste sub gikk forsøkspersonene en 3,5 min prestasjonstest i diagonalgang. Første 30 sekunder var hastigheten låst til $2,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, deretter var det 3 minutter selvstyrt hastighet. Høyeste HF samt én laktatmåling ble registrert i etterkant, mens oksygenopptak ble målt under hele testen.

3.3.2 Testdag 2

Etter den standardiserte oppvarmingen gjennomførte FP tre drag diagonalgang på samme belastning som under motbakkestakinga. HF, La- og oksygenopptak ble registrert. Det ble deretter gått to prestasjonstester i staking, ett ved 1° og ett ved 8° , med 20 minutters pause mellom. Dette er sett i tidligere studier å være tilstrekkelig med hvile for å prestere maksimalt for godt trente utøvere (Andersen, 2012). Rekkefølgen på dragene ble randomisert. Prestasjonstestene ble gjennomført på samme måte som for diagonalgang. Starthastigheten var på $2,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ for STA_{mot} , og $7,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ for STA_{flatt} .

3.4 Kalkuleringer

3.4.1 Kalkulering av ytre belastning

Den ytre belastningen (P_{ext}) ble beregnet som summen av kreftene mot tyngdekraften (P_g) og mot rullefriksjonen (P_f). P_{ext}

$$P_{ext} = \sum P = P_g + P_f$$

P_g ble kalkulert som økningen i potensiell energi over tid.

$$P_g = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot v$$

m representerer FP totale masse med utstyr, g er tyngdekraftens akselerasjon, v er hastigheten på båndet og α er vinkelen på båndet i grader.

Kraft mot friksjon ble kalkulert som arbeid mot friksjonskreftene ved en gitt hastighet.

$$P_f = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot v$$

Hvor μ representerer friksjonskoeffisienten, m representerer FP totale masse med utstyr, g er tyngdekraftens akselerasjon, v er hastigheten på båndet og α er vinkelen på båndet i grader.

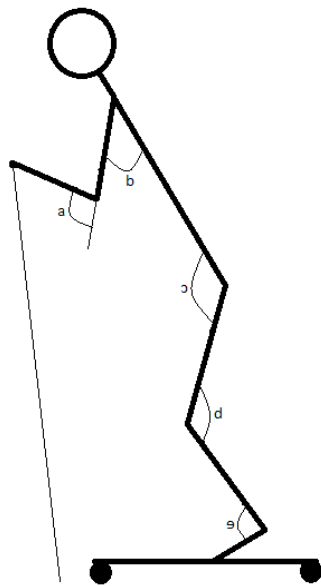
3.4.2 Gross efficiency

GE ved de submaksimale hastighetene ble beregnet som ratioen mellom ytre belastning (W) og hastigheten på den aerobe energifrigjøringen (W) og uttrykt i prosent (Losnegard et al., 2014). Den ytre belastningen ble kalkulert som beskrevet over. Den aerobe energifrigjøringen ble bestemt ved å bruke VO_2 og koresponderende RER-verdi sammen med en standard konverteringstabell (Peronnet & Massicotte, 1991).

3.5 Kinematiske målinger

Markører (sportsteip med svart sirkel) ble festet på skulder, albue, håndledd (stavstropp), hofte, kne, ankel, forfot og to på staven i forkant av de submaksimale

staketestene. Vinklene som ble undersøkt er vist i Figur 3.2. Video over 15 sekunder, fra venstre side, ble videre analysert.



Figur 3.2: Leddvinklene som ble undersøkt. a = albue, videreføring av overarmen, vinkel mot underarmen. Full ekstensjon er 0° . b = skulder, 0° angir nøytral stilling, + angir fleksjon, - angir ekstensjon. c = Hofte, 180° angir full ekstensjon. d = kne, 180° angir full ekstensjon. e = ankel, 180° angir full plantarflexjon.

3.6 Utstyr

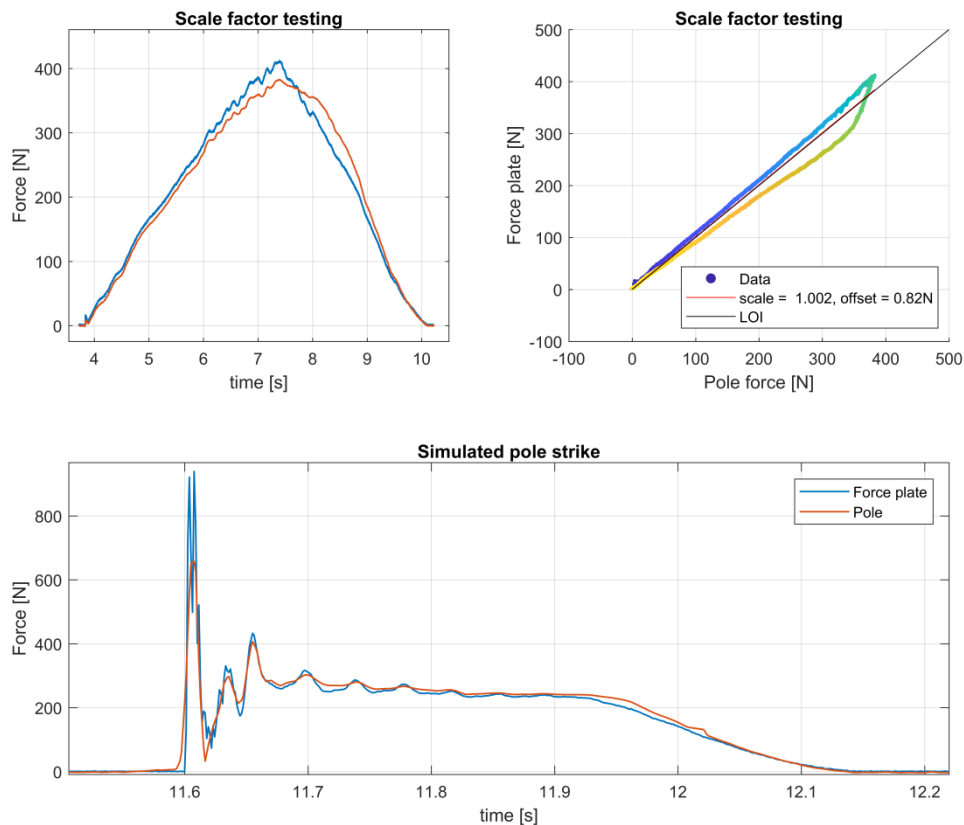
Alle testene ble gjennomført på en spesialtilpasset rulleskimølle fra Rodby av typen RL2700E x 1000 (Rodby, Södertälje, Sverige). Båndet måler 2,7 m x 1 m, med spesialtilpassede gummibånd på sidene beregnet for å kunne benytte rulleskipigger. Rulleskiene som ble brukt er av typen IDT classic RM2 med 3'er hjul (IDT solutions AS, Lena, Norge). Rullemotstanden ble målt til 0,027 ved bruk av Vernier Dual-Range Force Sensor (Vernier Software & technology, Beaverton, Oregon, USA). Det ble brukt egne sko, med potensielt to ulike bindingssystemer, NNN (Rottefella, Klokkearstua, Norge) eller SNS (Salomon, Annecy, Frankrike). Under alle de maksimale testene var FP festet med en sikkerhetssele.

For måling av VO_2 ble det brukt et automatisk ergospirometrisystem (Oxycon Pro, Jaeger Instrument, Hoechberg, Tyskland). Det ble gjennomført kalibrering av analysatoren før hver test med en standardisert kalibreringsgass (180kPa, 5,55 % karbondioksid (CO_2) og 94,45 % nitrogengass (N_2)). Luftstrømturbinen (Triple V; Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Tyskland) ble manuelt kalibrert med en tre liters kalibreringspumpe (CalibrationSyringe, series 5530; Hans Rudolph Inc., Kansas City, Missouri, USA). Hjerterefrekvens ble registrert med hver enkelt forsøkspersons egen pulsklokke.

Måling av laktatkonsentrasjon i kapillærblod fra fingerstikk ble gjort med en laktatanalysator (Biosen C-line, EKF Diagnostic, Cardiff, England). Kalibrering ble gjort før hver FP, og hver time med en standard løsning på 12 mmol/L (Biosen Multi standard solution 12 mmol/L, EKF Diagnostic, Cardiff, England) og to testløsninger på 3 og 14 mmol/L (Biosen Ready Con_{norm} Test solution for glucose and lactate, EKF Diagnostic, Cardiff, England).

FP ble filmet under skigåing på tredemølla med en Ipad Pro (Apple, Cupertino, California, USA) med 120 bilder per sekund under testene.

For måling av kraft gjennom stav ble det brukt et spesiallaget håndtak (Polar Electro OY, Kempele, Finland) med en kraftsensor som målte krafta fra håndtaket og ned i stavrøret. Disse kraftmålerne er ikke testet for validitet eller reliabilitet, men kraftmålingene er sammenlignet med målinger fra kraftplattform (OR6-6, AMTI, Watertown, MA, USA), ved å ta et ”stavgak” på plattformen. De to dataene stemmer godt overens (Figur 3.3). Dette er kun fra én test, så det er ikke nok data til å si noe konkret om måleusikkerheten til stavene.



Figur 3.3: Målinger fra Kraftstavene og kraftplattform.

3.7 Databehandling

Kinematisk karakteristikker ble analysert for STA_{flatt} ($6,92 \pm 0,48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) og STA_{mot} ($1,9 \pm 0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) ved den siste av de tre submaksimale hastighetene for alle FP. Alle data presentert er gjennomsnittet av 5 sykluser. Kinematiske data ble behandlet i Tracker (Open Source Physics, USA) for å bestemme punktene for hvert ledd i et x-y koordinatsystem. Matlab (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA) ble brukt for å få ut vinkler basert på hvert enkelt punkts x-y koordinater. For sammenligning ble syklusen normalisert i forhold til tid ved bruk av en 3.grads interpolasjon med 101 punkter. En syklus er tiden mellom hvert stavissett. Kontakttid er tiden fra stavissett til staven forlater bakken. Slipptiden er tiden fra staven forlater bakken, til et nytt stavissett.

3.8 Statistikk

Data ble antatt å være normalfordelte, støttet av sentralgrenseteoremet (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009), og parametriske tester ble derfor benyttet. For data fra prestasjonstesten ble det benyttet en tre-veis ANOVA for repeterte målinger for å se på forholdet mellom alle stilartene (A x B x C). Det ble utført en Bonferroni post hoc korreksjon for å se om forskjellene var signifikante. Alle andre data er det brukt en paret Student's t-test for å se om forskjellen mellom to data er signifikant. Pearsons produkt-moment korrelasjonskoeffisient ble brukt for å måle sammenhengen mellom parametre. Styrken på korrelasjonen mellom målingene ble vurdert som: < 0,1 ingen korrelasjon, 0,1 – 0,3 liten korrelasjon, 0,3 – 0,5 moderat korrelasjon, 0,5 – 0,7, stor korrelasjon, 0,7 – 0,9 veldig stor korrelasjon, 0,9 – 1 nesten perfekt korrelasjon (Hopkins, 2004).

Data ble behandlet i Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft, Redmond, USA) og IBM SPSS Statistics 24 (International Business Machines (IBM), New York, USA). $P \leq 0,05$ ble ansett som statistisk signifikant.

4. Resultater

4.1 Submaksimale belastninger

Data for alle de 3 sub hastighetene ved DIA, STA_{mot} og STA_{flatt} er presentert i tabell 4.1. Alle sub for STA_{flatt} er gjennomført på 1°, mens DIA og STA_{mot} er gjennomført på 8°.

Det var en signifikant lavere O₂-kostnad for DIA enn STA_{mot} ved alle hastigheter (15 ± 10 %). Videre var det lavere La-, hjertefrekvens (HF) og RPE ved DIA enn STA_{mot} (p < 0,01). For STA_{flatt} var det lavere O₂-kostnad enn STA_{mot} på Sub 1 (p < 0,01), men det ble ikke funnet forskjell på Sub 2 eller 3. FP hadde høyere GE (p < 0,05) ved STA_{flatt} enn STA_{mot} ved Sub 1, men ingen forskjell ved Sub 2 og 3.

Tabell 4.1: Fysiologiske målinger fra de submaksimale belastningene. Data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.

Sub 1			
	STA _{flatt}	STA _{mot}	DIA
Watt	197 \pm 33	198 \pm 43	198 \pm 43
Hastighet (m·s ⁻¹)	5,8 \pm 0,6	1,6 \pm 0,2	1,6 \pm 0,2
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	45,8 \pm 4,6 ^b	49,8 \pm 4,2	41,9 \pm 6,4 ^a
VO ₂ (ml·min ⁻¹)	3334 \pm 522 ^b	3614 \pm 440	3084 \pm 670 ^a
La ⁻ (mmol·l)	2,6 \pm 0,6	3,2 \pm 1,1	1,2 \pm 0,3 ^a
HF (slag·min ⁻¹)	155 \pm 8	157 \pm 10	136 \pm 10 ^a
RPE	11 \pm 1 ^b	13 \pm 2	9 \pm 2 ^a
RER	0,89 \pm 0,03	0,92 \pm 0,04	0,85 \pm 0,03 ^a
GE (%)	17 \pm 1 ^b	16 \pm 2	19 \pm 1 ^a
Sub 2			
	STA _{flatt}	STA _{mot}	DIA
Watt	215 \pm 34	218 \pm 45	218 \pm 45
Hastighet (m·s ⁻¹)	6,4 \pm 0,6	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	51,8 \pm 5	53,8 \pm 3,9	45,5 \pm 6,4 ^a
VO ₂ (ml·min ⁻¹)	3763 \pm 566	3905 \pm 440	3346 \pm 690 ^a
La ⁻ (mmol·l)	3 \pm 0,6 ^b	3,9 \pm 1,1	1,1 \pm 0,5 ^a
HF (slag·min ⁻¹)	164 \pm 6 ^b	167 \pm 8	143 \pm 11 ^a
RPE	13 \pm 1 ^b	14 \pm 2	10 \pm 2 ^a
RER	0,92 \pm 0,03 ^b	0,94 \pm 0,03	0,87 \pm 0,04 ^a
GE (%)	16 \pm 1	16 \pm 2	19 \pm 1 ^a
Sub 3			
	STA _{flatt}	STA _{mot}	DIA
Watt	233 \pm 35	238 \pm 46	238 \pm 46
Hastighet (m·s ⁻¹)	6,9 \pm 0,5	1,9 \pm 0,2	1,9 \pm 0,2
VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	57,9 \pm 4,6	57,6 \pm 3,7	49,1 \pm 6,6 ^a
VO ₂ (ml·min ⁻¹)	4207 \pm 554	4178 \pm 458	3611 \pm 707 ^a
La ⁻ (mmol·l)	4,6 \pm 1,1	5,1 \pm 1,4	1,5 \pm 0,8 ^a
HF (slag·min ⁻¹)	174 \pm 6	174 \pm 8	152 \pm 11 ^a
RPE	15 \pm 1 ^b	16 \pm 2	12 \pm 2 ^a
RER	0,95 \pm 0,3	0,96 \pm 0,02	0,89 \pm 0,05 ^a
GE (%)	16 \pm 1	16 \pm 2	19 \pm 1 ^a

a- Signifikant forskjell mellom STA_{mot} og DIA (p < 0,05)

b- Signifikant forskjell mellom STA_{mot} og STA_{flatt} (p < 0,05)

HF = Hjerterefrekvens, RPE = Opplevd anstrengelse, RER = Respiratorisk utvekslingskvotient

4.2 Prestasjonstest

Fysiologiske data fra prestasjonstesten er vist i Tabell 4.2 og Figur 4.1. Alle prestasjonstestene er gjennomført på samme helning som sub.

Ved prestasjonstesten for DIA og STA_{mot}, som foregikk ved samme vinkel og startfart, kom FP 71 \pm 63 meter lengre ved DIA enn STA_{mot} (p < 0,01). VO_{2maks} ved løp var 78,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹, og signifikant høyere enn alle skiteknikkene (P < 0,01, Figur 4.1). Videre

var VO_{2Peak} signifikant høyere ved DIA enn både STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,01$), men det var ingen forskjell mellom STA_{flatt} og STA_{mot} (Tabell 4.2 og Figur 4.1). VE_{peak} var høyere ved DIA enn ved både STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,05$), mens det var ingen forskjell i HF_{peak} eller RER. STA_{mot} ga høyere La- enn STA_{flatt} og DIA ($p < 0,05$). Det akkumulerte O_2 -underskuddet var signifikant høyere for STA_{mot} enn STA_{flatt} og DIA (Tabell 4.2).

Tabell 4.2: Fysiologiske data fra 3,5 min prestasjonstest. All data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.

	Prestasjonstest		
	STA_{flatt}	STA_{mot}	DIA
Snittfart ($m \cdot s^{-1}$)	$7,7 \pm 0,3$	$2,7 \pm 0,2$	$3 \pm 0,2^b$
Maksfart ($m \cdot s^{-1}$)	$8 \pm 0,5$	$2,9 \pm 0,4$	$3,5 \pm 0,4^b$
Distanse (m)	1601 ± 97	550 ± 34	610 ± 56^b
$VO_{2peak}(ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1})$	$69,5 \pm 2,4$	$68,6 \pm 2,9$	$74 \pm 4,4^{abc}$
$VO_{2peak}(ml \cdot min^{-1})$	5034 ± 384	4990 ± 431	5401 ± 498^{abc}
% av VO_{2maks} i løp	88 ± 4	89 ± 3	95 ± 4
La- ($mmol \cdot L$)	$9,6 \pm 1,6$	$10,9 \pm 1,9^a$	$10,1 \pm 1,7$
$VE_{peak} (L \cdot min^{-1})$	185 ± 18	187 ± 23	194 ± 19^{abc}
$HF_{peak} (slag \cdot min^{-1})(n=9)$	186 ± 6	187 ± 7	189 ± 7^{abc}
RER	$1,1 \pm 0,13$	$1,12 \pm 0,06$	$1,12 \pm 0,04$
ΣO_2 -underskudd (L)(n=9)	$2,7 \pm 1,1$	$5,4 \pm 0,9^{abd}$	$3,3 \pm 1,2$
ΣO_2 -underskudd ($ml \cdot kg^{-1})(n=9)$	$36,8 \pm 13$	$74 \pm 9,1^{abd}$	$44,9 \pm 14,8$

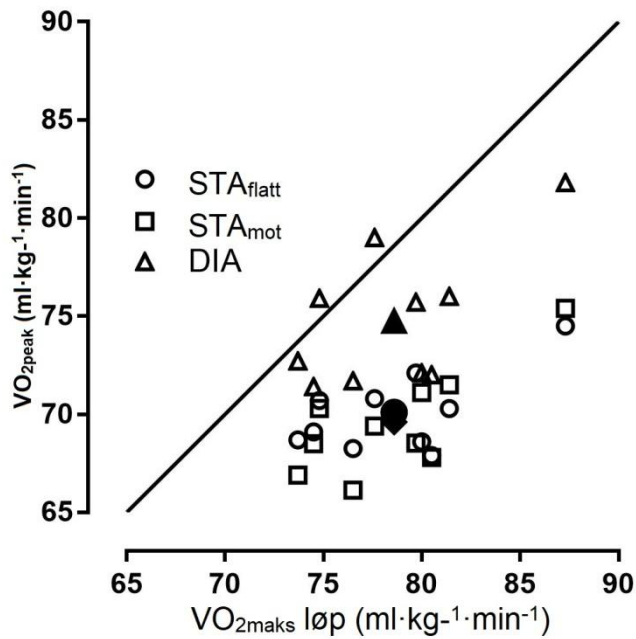
a- Signifikant forskjell mellom gruppene ($P < 0,05$)

b- Signifikant forskjell mellom STA_{mot} og DIA ($P < 0,05$)

c- Signifikant forskjell mellom STA_{flatt} og DIA ($p < 0,05$)

d- Signifikant forskjell mellom STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,05$)

VE = Ventilasjon, HF = Hjerterefrekvens, RPE = Opplevd anstrengelse, RER = Respiratorisk utvekslingskvotient

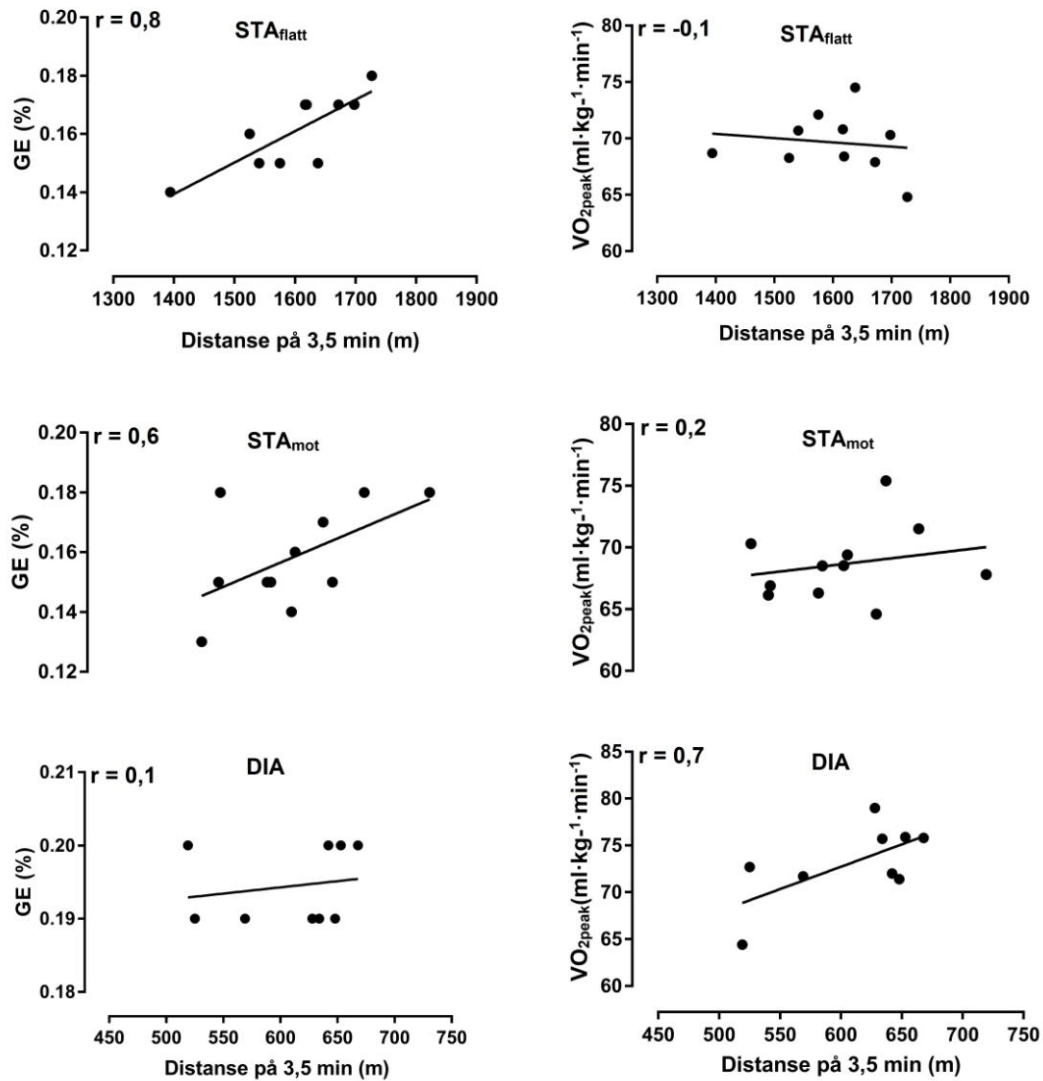


Figur 4.1: Individuelt $VO_{2\text{maks}}$ løp mot $VO_{2\text{peak}}$ for de ulike teknikkene. Midtlinja ("line of identity") markerer lik VO_2 , markørene over linja har høyest VO_2 ved den aktuelle teknikken, mens markørene under har høyest VO_2 ved løp. Markørene med fyll er gjennomsnitt for hver teknikk.

4.3 Sammenheng mellom $VO_{2\text{peak}}$, GE og prestasjon

Korrelasjon mellom $VO_{2\text{peak}}$, GE og prestasjon for STA_{flatt} og DIA er presentert i figur 4.2.

Korrelasjonen mellom GE og prestasjon for STA_{flatt} var $r = 0,8$, STA_{mot} var $r = 0,6$ mens for DIA var $r = 0,1$. For sammenhengen mellom $VO_{2\text{peak}}$ og prestasjonstesten var $r = -0,1$ for STA_{flatt} , $r = 0,2$ for STA_{mot} og $r = 0,7$ for DIA



Figur 4.2: Korrelasjonen mellom GE, VO_{2peak} og prestasjon for STA_{flatt}, STA_{mot} og DIA.

4.4 Kinematiske og temporale karakteristikk for STA_{flatt} og STA_{mot}

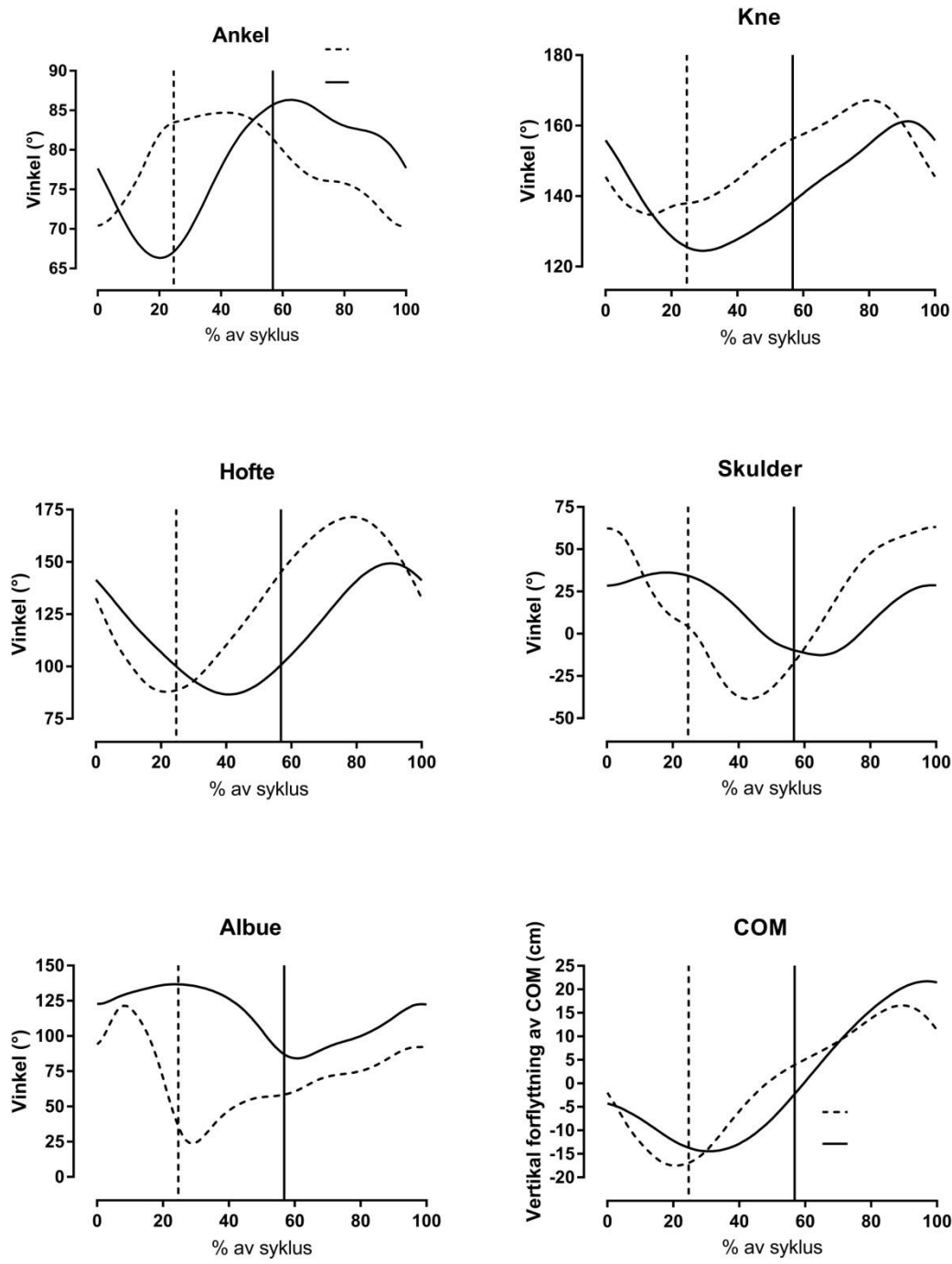
Alle kinematiske data er hentet inn fra sub 3. Det er ~ lik ytre belastning (watt) og O₂-kostnad for STA_{flatt} og STA_{mot}. Alle data er normalisert for syklustid, og presentert som gjennomsnitt i Tabell 4.3 og Figur 4.3. Ved STA_{flatt} hadde forsøkspersonene en gjennomsnittlig hastighet på $6,92 \pm 0,48 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, mens de ved STA_{mot} hadde $1,9 \pm 0,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Kontakttid, syklustid, slippetid og vertikal forflytning av COM (zCOM) var forskjellig mellom STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,05$, Tabell 4.3). STA_{mot} hadde lengre kontakttid, kortere slippetid og kortere syklustid en STA_{flatt}. Vinkler, normalisert for syklustid, fra albue, skulder, hofte, kne og ankel, samt zCOM for STA_{flatt} og STA_{mot} er presentert i figur 4.3. STA_{mot} har en mer kompakt posisjon i overkroppen, med armene nærmere kroppen, ved stavsett med høyere albuevinkel og lavere skuldervinkel. Albuen forblir mer flektert og har en mer konstant avstand til kroppen gjennom hele syklusen. Knevinkelen er omtrent lik ved stavsett, men kneet skyves mer frem under kontakttiden ved STA_{mot}. Dette skaper også mindre vinkel i ankelleddet. Hoftevinkel har en tilnærmet lik kurve for de ulike helningene, men STA_{mot} har en forsinkelse i forhold til STA_{flatt}. Dette skyldes den forlengede kontakttiden, som gir utøverne bedre tid til å gjennomføre bevegelsen. zCOM er lik ved stavsett, men STA_{flatt} har et markant fall i zCOM like i forkant av stavsett. zCOM ender også høyere for STA_{mot}, grunnet større vinkel på mølla.

Tabell 4.3: Kontakttid, slippetid, syklustid, % kontakttid og zCOM for STA_{flatt} og STA_{mot}. Alle data er presentert som gjennomsnitt \pm SD (n=11).

	STA _{flatt}	STA _{mot}
Kontakttid (s)	0,26 \pm 0,02	0,54 \pm 0,05 ^a
Slippetid (s)	0,81 \pm 0,1	0,41 \pm 0,07 ^a
Syklustid (s)	1,07 \pm 0,09	0,95 \pm 0,03 ^a
Frekvens (Hz)	0,93 \pm 0,1	1,05 \pm 0,01 ^a
% Kontakttid	25 \pm 1,5	57 \pm 2,2 ^a
zCOM (cm)	34 \pm 3	36 \pm 4 ^a

a- Signifikant forskjell mellom STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,05$)

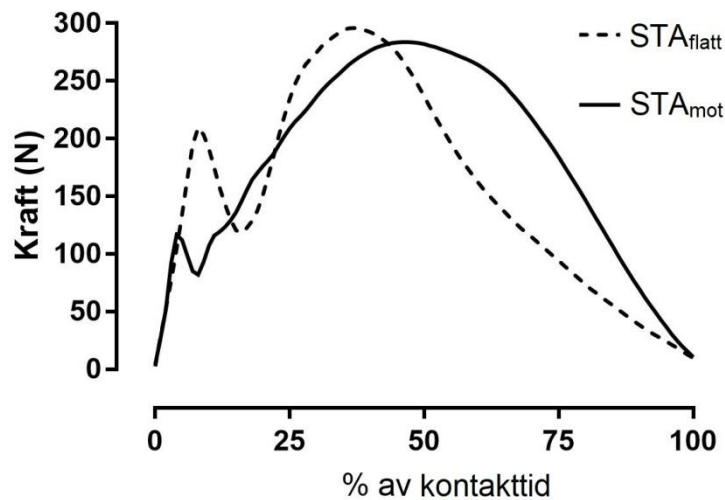


Figur 4.3: Vinkler og vertikal forflytning av COM fra den siste submaksimale hastigheten for STA_{flatt} og STA_{mot}. Linje markerer stavslipp. zCOM er presenter som differanse fra gjennomsnittlig plassering av COM, og forflytning oppover langs mølla er tatt med i utregningene. Alle data er presentert som gjennomsnitt (n = 11).

4.5 Kraftmålinger

Data fra kraftstaver er gjennomsnitt fra venstre og høyre stav og hentet fra sub 3, som de kinematiske data (n=6). Kraftmålingene er presentert i Figur 4.4.

Kraftutviklingen igjennom stavene var forskjellig mellom STA_{flatt} og STA_{mot} ($p < 0,01$) under en normalisert syklus. Det var ingen forskjell i maksimal kraft mellom STA_{flatt} (296 N) og STA_{mot} (284 N). Kraften gjennom kontakttiden er presentert i figur 4.4.



Figur 4.4: Kraft gjennom stavene ved staking. Data er presentert som gjennomsnitt fra begge stavene (n = 6).

5.0 Diskusjon

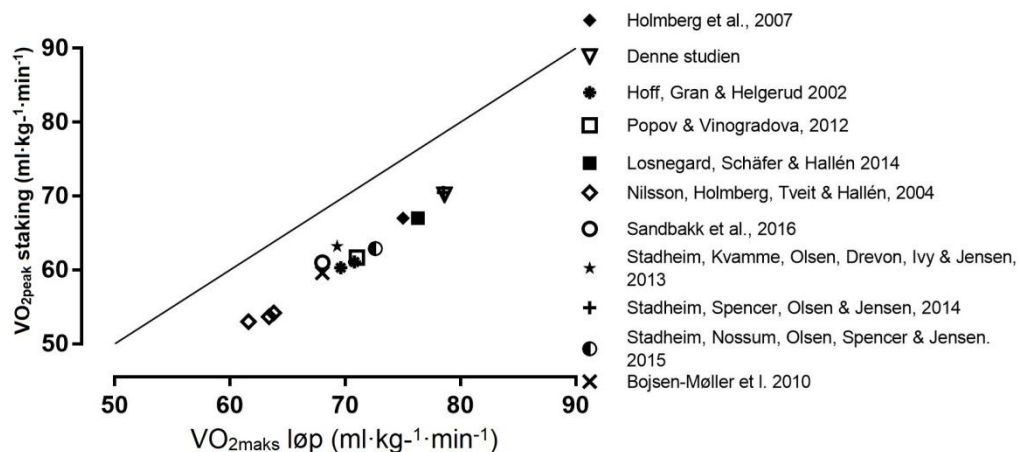
Hovedmålet med dette studiet var å undersøke forskjeller i O_2 -kostnad, VO_{2peak} og prestasjon for staking i flatt terreng, staking i motbakke og diagonalgang.

Hovedfunnene viste (I) DIA gav bedre prestasjon på en 3,5 minutters prestasjonstest enn STA_{mot} . DIA hadde lavere O_2 -kostnad ved sub og høyere VO_{2peak} , mens STA_{mot} hadde høyere akkumulert O_2 -underskudd. (II) Det er store forskjeller i teknikk mellom STA_{flatt} og STA_{mot} . Til tross for dette var det ingen forskjeller i VO_{2peak} eller O_2 -kostnad ved staking med lik ytre belastning.

5.1 VO_{2peak} og prestasjon

I dagens langrenn brukes både staking og DIA i moderat til bratte motbakker. Til tross for dette finnes det lite forskning som beskriver forskjell i prestasjon og fysiologi mellom teknikkene i bratt motbakke. I dette studiet kom FP 11 % lengre ved DIA enn STA_{mot} på en 3,5 min selvstyrt prestasjonstest. Denne forskjellen kan forklares av høyere VO_{2peak} (7 %) og bedre O_2 -kostnad (15 %) for DIA enn for STA_{mot} . Det er tidligere funnet ~10 % lavere VO_{2peak} for staking enn diagonalgang (Holmberg et al., 2007; Sandbakk et al., 2016). Dette er derimot den første studien som sammenligner VO_{2peak} ved DIA og staking i bratt motbakke. Det ble funnet lik VO_{2peak} for STA_{mot} og STA_{flatt} , mens det var i begge testene lavere enn DIA. Stöggl & Holmberg (2016) så en tydeligere pumpebevegelse i underekstremiteten ved motbakke. Dette observeres også i denne studien. Data fra dagens studie tyder på at den økte aktiveringen av underekstremiteten i STA_{mot} kontra ved STA_{flatt} ikke har noen påvirkning på VO_{2peak} ved bratt motbakke. Dette kan skyldes at armene er maksimalt aktivert i STA_{mot} som sett ved STA_{flatt} (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014), og det pumpes derfor like mye blod til armer som bein. Siden det er funnet dårligere ekstraksjonskapasitet for armene enn beina ved STA_{flatt} , vil den store andelen blod som pumpes til armene redusere den totale mengden oksygen som tas opp (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014^b). Hypotesen om lik VO_{2peak} for STA_{mot} og DIA kan derfor ikke verifiseres, noe som indikerer at de nevnte begrensningene som er sett for VO_{2peak} ved STA_{flatt} også er gjeldende for STA_{mot} . Treningen til deltakerne kan også være en faktor som påvirker VO_{2peak} . Til tross for at spesialstakerne staker store deler av den spesifikke treninga, foregår mesteparten av

både rulleski- og skitreninga i naturlig terreng. Størstedelen av treninga vil derfor foregå i terreng under 6° helning, og teknikken i bratt motbakke blir derfor mindre stimulert. Distanseløperne vil i stor grad bruke DIA i motbakker, og staking i flatere terreng. Det er derfor en mulighet for at den spesifikke treninga av staking i bratt motbakke ikke blir stimulert i stor nok grad til å maksimere potensialet for VO_{2maks} . Secher et al., (1974) testet roere på høyt nivå ved kombinert arm og beinarbeid i en bevegelse som minner mye om roing. De fant da høyere VO_{2maks} -målinger for kombinert arm og beinarbeid enn for løping i motbakke. Studiet til Secher et al., (1974) er ikke et intervensjonsstudie, så det kan være mange årsaker til at disse roerene måler høye VO_{2maks} verdier ved kombinert arm og beinarbeid. Disse resultatene kan derimot indikere at den spesifikke treninga har bidratt til høyere VO_{2maks} -verdier for kombinert arm og beinarbeid. Bergh et al., (1976) så på VO_{2maks} for utrente, og fant ved kombinert arm og beinarbeid 97 % av VO_{2maks} for løp. Dette tyder på at det er mulig å komme nærmere VO_{2maks} i motbakkeløp ved bruk av kombinert arm og beinarbeid enn ved staking flatt. Dette kan komme av tekniske begrensninger ved staking flatt, eller bedre VO_{2maks} ved løp hos langrennsløpere. Siden en stor del av treninga for langrennsløpere består av løping, er det en mulighet for at langrennsløpere har høyere VO_{2maks} innen løping, enn for eksempel roere. Utfra tidligere studier som har sett på VO_{2maks} ved løping og staking kan det virke som det er et tak for staking på $\sim 10\%$ av VO_{2maks} ved løp, uavhengig av VO_{2maks} -verdi (Figur 5.1). Den lineære økningen i VO_{2maks} ved staking sett mot løp tyder på at en forbedring i de sentrale faktorene, og en økning i VO_{2maks} påvirker både løp og staking i like stor grad. Siden det er funnet dårligere ekstraksjonskapasitet for armene ved staking (Calbet et al., 2004; Rud et al., 2014^b), kan dette være årsaken til tendensen man ser i Figur 5.1, og grunnen til 10% lavere VO_{2maks} -målinger for STA_{flatt} . Siden armene jobber maksimalt også ved STA_{mot} er det naturlig å anta at den samme begrensningen som for STA_{flatt} også forekommer i motbakke, og at det derfor ikke måles høyere VO_{2peak} for STA_{mot} enn ved STA_{flatt} i denne studien. Mer forskning på staking i bratt motbakke må derimot til for å få en full forståelse av sammenhengen mellom STA_{flatt} og STA_{mot} , og helningens påvirkning på VO_{2maks} .



Figur 5.1: Sammenhengen mellom VO_{2maks} for staking og løping. Midtlinja (line of identity) markerer lik VO_2 .

5.2 Effekten av helning på VO_{2peak}

Funnene i dette studiet indikerer at det ikke er noen forskjell i VO_{2peak} mellom STA_{flatt} og STA_{mot} . Bare en studie har tidligere målt VO_{2peak} i staking ved både lav og bratt helning. Wisløff & Helgerud (1998) målte VO_{2peak} for staking ved 3°, 4°, 5°, 6° og 7°. De fant ingen forskjell i VO_{2peak} ved 3°, 4°, 5° eller 6°. Ved 7° fant de derimot lavere VO_{2peak} enn ved alle de andre helningene. Årsaken til de ulike funnene mellom deres studie, og det som er sett i denne studien skyldes antagelig utviklingen av staketeknikken de siste 20 årene. Dagens utøvere er bedre trent i staking, og det brukes i større grad i motbakkene. Da Stöggl og Holmberg (2016) sammenlignet staking ved 1° og 7° fant de klare tekniske forskjeller mellom helningene. Musklene må derfor tilpasse seg motbakketeknikken for å oppnå det samme spesifikke oksygenopptaket. Dette bekreftes hvis FP fra dette studiet deles inn i grupper for spesialstakere og for distanseløpere. Distanseløperne har da signifikant lavere VO_{2peak} ved STA_{mot} enn ved STA_{flatt} , mens spesialstakerene har ingen forskjell (Tabell 5.1). Dette skyldes antagelig et høyere volum med trening på motbakkestaking for spesialstakerne, siden hovedfokuset er staking i treningsarbeidet. For distanseløperne, som sjeldent staker i motbakke under konkurranse, blir staking i flattere terreng prioritert i treninga.

Tabell 5.1: VO_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ved staking for spesialstakere og distanseløpere. Data er snitt \pm SD

Disiplin	STA_{mot}	STA_{flatt}
Langløp	$69,6 \pm 4$	$69,1 \pm 3$
Allround	$68,2 \pm 2$	$69,9 \pm 2^a$

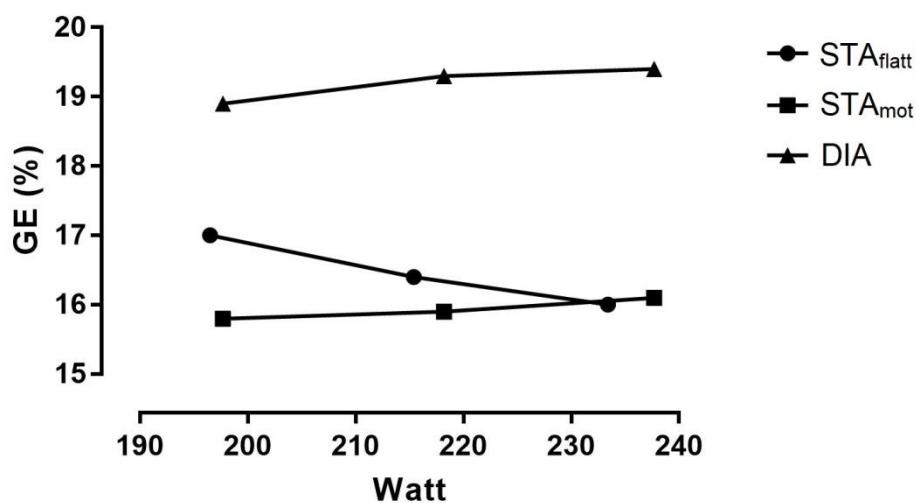
a- Signifikant forskjell mellom STA_{mot} og STA_{flatt}

5.3 O_2 -kostnad

Det er tidligere sett at staking er mest effektivt i flattere terreng, mens diagonalgang er mer økonomisk i brattere bakker. Pellegrini et al., (2013) sammenlignet energikostnaden for diagonalgang og staking ved 10 km/t og helning fra 0° - 7° . De fant at staking var mindre energikrevende enn diagonalgang frem til 3° , men O_2 -kostnaden ved staking økte med en høyere rate enn diagonalgang. Dette samsvarer med Hoffman et al., (1994) som sammenlignet staking og diagonal ved 1° og 4° . Staking hadde lavere O_2 -kostnad enn DIA ved 1° , mens det var likt ved 4° . Funnene fra dagens studie viser at ved 8° er diagonalgang klart mer energieffektivt enn staking på rulleski, med en 15 % lavere O_2 -kostnad ved alle sub hastigheter. HF, La-, RER og RPE er klart høyere for STA_{mot} enn DIA. Dette er i samsvar med Dahl et al., (2017) som sammenlignet staking og diagonalgang på 3° og 7° . Også her var HF, RER, RPE og La- lavere ved DIA enn ved staking på 7° . Data fra dette studiet er i samsvar med Pellegrini et al., (2013), og det underbygger at O_2 -kostnaden stiger med en høyere rate for staking enn DIA ved økende helning.

GE viser at DIA har høyere effektivitet enn både STA_{flatt} og STA_{mot} (Figur 5.1). Dahl et al., (2017) fant en GE på ~19 % for diagonalgang ved 7° , mens staking ved samme helning hadde en GE på ~15 %, noe som stemmer godt overens med funnene i denne studien. GE for STA_{flatt} har en negativ tendens ved økende hastighet (figur 5.1). STA_{flatt} er derfor mer effektivt enn STA_{mot} ved de første sub hastighetene, mens det er tilnærmet likt ved siste hastighet. Dette skyldes den lave kontakttiden ved STA_{flatt} . Ved økende hastighet blir kontaktid redusert, og teknikken mindre effektiv (Stöggl & Holmberg, 2016). Redusert effektivitet skyldes at den raske kontraksjonshastigheten som kreves

stiller større krav til en eksplosiv og rask muskelkontraksjon. Den raske kontraksjonen skaper dårligere arbeidsforhold, og maksimalkraften synker. (Holmberg et al., 2005).



Figur 5.2: Effektivitet ved de tre Sub hastighetene. Data er presentert som gjennomsnitt.

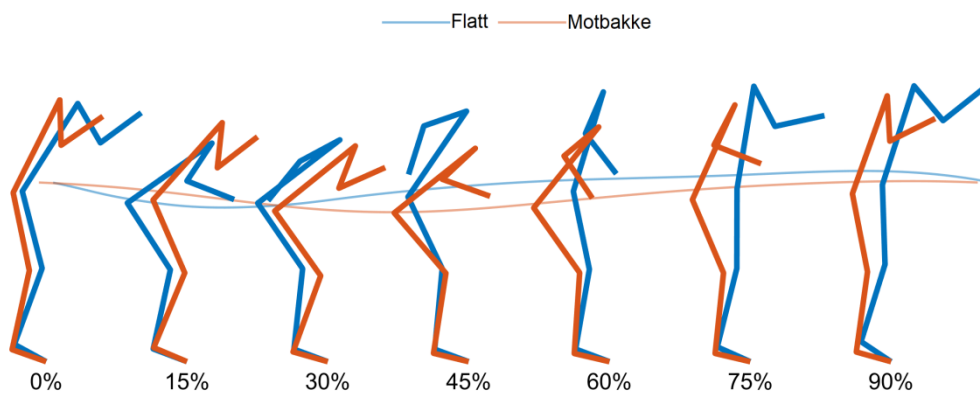
5.4 Staketeknikk

Det er ved alle studier på staking i flatt terreng sett kortere syklus- og kontakttid ved økende hastighet (Dahl, 2016; Lindinger et al., 2008; Nilsson et al., 2004; Stöggl & Holmberg, 2016). Den reduserte kontakttiden er den største begrensningen til videre økning i hastighet (Stöggl & Holmberg, 2016). Også ved staking i motbakke er det sett redusert kontakt- og syklustid ved økende hastighet. Dahl (2016) og Stöggl & Holmberg (2016) så ved 7° helning en klart kortere syklus- og kontakttid ved økende hastighet. I motbakke synes det, i motsetning til ved flatt, ikke å være en begrensning med kontakttid. Ved 7° virker gravitasjonen 3,5 ganger mer imot utøveren enn ved 1° (Stöggl & Holmberg, 2016). Dette skaper en raskere og større brems under slipptiden. En effektiv og rask reposisjonering av kroppen er derfor avgjørende for å opprettholde hastigheten. Det er også avgjørende å komme seg opp og frem for å ha en mest mulig oppreist, forovervendt posisjon ved stavsett (Stöggl & Holmberg). I motbakke er det derfor tilbakeføringsfasen som er den største tekniske begrensningen. Teknikken ved tilbakeføring av armene kan også være en årsak til forskjellen sett i VO_{2peak} mellom spesialstakerne og distanseløperne. Spesialstakerne har muligens forbedret teknikken

for tilbakeføring av armene, og kan derfor oppnå høyere hastighet og utnytte kapasiteten sin bedre. Det ble derimot ikke sett noen forskjell i slipptid verken i tid eller prosent av hele syklusen mellom FP i denne studien. Det kan derfor være en bedre, og ikke raskere, reposisjoneringsteknikk som gir de beste en gunstigere posisjon ved stavsett. Dette bidrar til en høyere posisjon, noe som igjen åpner for større bruk av kroppsvekten gjennom stavgaket (Stöggl & Holmberg, 2016)

I likhet med Stöggl og Holmberg (2016) ser en også i denne studien en mer kompakt overkropp, med armene nærmere kroppen og mer vinkel i albuen, for STA_{mot} sett opp mot STA_{flatt} (Figur 5.3). Ved STA_{flatt} er det en tydelig forberedelsesfase hvor COM senkes like før stavsett. Siden denne forberedelsesfasen ikke er til stede ved STA_{mot} har utøverne COM likt ved stavsett for STA_{mot} og STA_{flatt} , noe som stemmer overens med Stöggl & Holmberg (2016) sine funn. Den maksimale kraften nås senere ved STA_{mot} , og det skapes totalt sett mer kraft. Kraftkurven for STA_{flatt} samsvarte bra med tidligere målinger av kraft gjennom stav (Dahl et al., 2017; Stöggl & Holmberg, 2016). En forskjell på stavkraft sett i dette studiet og Stöggl & Holmberg (2016) er at det er ingen forskjell på maksimalkraften for STA_{flatt} og STA_{mot} , mens det i deres studie var klart større for STA_{mot} . Dette skyldes antagelig at FP i deres studie går på veldig ulik ytre belastning, og er derfor avhengig av å gjøre et større arbeid i motbakke, hvor Watt var høyest.

Kraft gjennom stav data fra dette studiet er kun hentet ut fra seks FP, noe som gjør det umulig å konkludere noe utifra dataene. Det gir derimot en indikasjon på at det ved lik ytre belastning ikke er noen store forskjeller i den maksimale kraften gjennom stavene, men høyere totalkraft skapes i motbakke.



Figur 5.3: Bevegelse gjennom en syklus ved STA_{flatt} og STA_{mot} . Figuren er et snitt fra alle forsøkspersonene, og normalisert.

5.5 Praktiske konsekvenser

Forskjellen i prestasjon og fysiologiske parametre mellom DIA og STA_{mot} som ble funnet i studien viser at det i motbakke er klart mest energieffektivt å benytte seg av DIA. Disse funnene gir et innblikk i hva som skjer fysiologisk om man staker opp en bakke, istedenfor å benytte seg av DIA. Dette gir utøvere og trenere bedre grunnlag til å vurdere taktiske valg, og valg av teknikk underveis i et skirenn. Det tyder også på at føret og forholdene har stor innvirkning på forskjellen mellom DIA og STA_{mot} . Ved optimale forhold for festevoks vil fordelene ved DIA være stor, mens det ved vanskeligere smøreforhold vil være mindre forskjell mellom de to teknikkene.

Funnene fra denne studien gir et innblikk i hva som kreves for å bli god til å stake. Som sett tidligere måles det lavere VO_{2peak} ved staking enn de andre skiteknikkene (Holmberg et al., 2007; Losnegard, Schäfer & Hallén, 2014). I denne studien ble det heller ikke sett noen forskjell i VO_{2peak} mellom spesialstakere og distanseløpere. Dette tyder på at det i større grad er de perifere faktorene i musklaturen og den spesifikke teknikken som forbedres ved økt prestasjon i staking. Dette bekreftes også om man ser på korrelasjonen mellom GE og prestasjon på 3,5 min testen. For både STA_{flatt} og STA_{mot} var det god sammenheng mellom prestasjon og GE på de submaksimale dragene, mens det var ingen korrelasjon mellom VO_{2peak} og prestasjon (Figur 4.2). For DIA var det derimot motsatt, og VO_{2peak} var den beste prediktoren på prestasjon. Basert på disse resultatene kan man påstå at treningen bør legges opp noe forskjellig avhengig

av hvilken teknikk man ønsker å forbedre. Det bør fokuseres mer mot utvikling av VO_{2maks} for DIA, mens fokuset bør være å forbedre de lokale forholdene i musklaturen for staking. Det er også tydelig at STA_{flatt} og STA_{mot} er to forskjellige teknikker og utfordrer kroppen på ulik måte. Det bør derfor trenes spesifikt på både STA_{mot} og STA_{flatt} for å mestre alle typer helning i staking.

5.6 Begrensninger ved studien

Dette studiet har sammenlignet staking og diagonalgang på en helning det ville vært naturlig for alle å gå diagonalgang på langrenn på snø. Ser man på resultatene fra dette studiet, og tidligere studier er det ingen tvil om lønnsomheten av å bruke diagonalgang i motbakker over 4° (Dahl et al., 2017; Pellegrini et al., 2013). Disse testene er derimot gjort på rulleski, og ikke ute på snø. På rulleski er det en brems i bakhjulet, som gir garantert feste uansett utførelse. Ute på ski er man derimot avhengig av festesmøring og et godt trykk ned i underlaget for å få feste. Om man ikke har helt feste ved diagonalgang under en konkurranse vil man naturligvis få dårligere arbeidsøkonomi og forskjellen mellom DIA og STA_{mot} blir antagelig mindre. Kvaliteten på sporene, temperatur, snøtype og vær vil derfor ha stor innvirkning på arbeidsøkonomien ved DIA i motbakkene. Festesmøringen kan også påvirke gliden og egenskapene til skiene. På rulleski er det lik glid uansett om en staker eller går diagonalgang. Dette påvirker hovedfordelen med å stake på blanke ski, nemlig bedre glid.

Sammenligningen mellom DIA og STA_{mot} ble kun gjort ved 8° . Under en langrennskonkurranse er det varierende helning på bakkene hvor DIA er aktuelt. Testing både på 8° og en slakere vinkel ville gitt et bedre bilde på hva som kan lønne seg i en konkurranse. Det er også ofte høy hastighet inn i motbakker under en konkurranse, i motsetning til testene i studiet der det kun er motbakke. Bruken av staking i bratt motbakke vil derfor avhenge av lengden på bakken, samt hastigheten en utøver har inn i bakken. Videre forskning på overgang mellom staking og DIA, samt eventuelle fysiologiske forskjeller i etterkant av selve bakken er nødvendig for å kunne få bedre forståelse av hva som lønner seg i konkurranse.

6.0 Konklusjon

DIA gir høyere VO_{2peak} og bedre prestasjon på en 3,5 minutters prestasjonstest enn STA_{mot} ved 8° helning. DIA gir også lavere O_2 -kostnad ved sub hastigheter. Det er klare tekniske forskjeller mellom STA_{mot} og STA_{flatt} , men ingen forskjell i VO_{2peak} eller GE. STA_{mot} har lengre kontakttid og en mer kompakt posisjon av overkroppen enn STA_{flatt} . Ved sub hastighet på lik ytre belastning gir STA_{flatt} lavere O_2 -kostnad enn STA_{mot} ved lavere hastigheter, mens det på høyere sub hastigheter ikke er noen forskjell i O_2 -kostnad mellom STA_{flatt} og STA_{mot} .

7.0 Referanser

- Andersen, M. (2012). *Effekten av to ulike restitusjonsprotokoller på prestasjon i sprintlangrenn*. Masteroppgave ved Norges Idrettshøgskole, Oslo.
- Andersen, P. & Saltin B., (1985). Perfusion of skeletal muscle in man. *J Physiol*. 366, 233–249.
- Basset, D. R. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc*, 32 (1), 70-84.
- Bergh, U., Kanstrup, I-L. & Ekblom, B. (1976). Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *Journal of applied physiology*, 41(2), 191-196.
- Bojsen-Møller, J., Losnegard, T., Kemppainen, J., Vilianen, T., Kalliokoski, K. K. & Hallén, J. (2010). Muscle use during double poling evaluated by positron emission tomography. *J.Appl Physiol*, 1895-1903.
- Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M. & Sandbakk, O. (2015). Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(7), 873-880.
- Borg, G. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exercise*, 14 (5), 377-381.

- Calbet, J., Jensen-Urstad, M., van Hall, G., Holmberg, H., Rosdahl, H. & Saltin, B. (2004). Maximal muscular vascular conductances during whole body upright exercise in humans. *J Physiol*, 319-331.
- Dahl, C. (2016). *A Biomechanical and physiological comparison of the double poling and diagonal stride technique in cross country skiing. – under different combinations of inclines and intensities*. Masteroppgave ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- Dahl, C., Sandbakk, Ø., Danielsen, J. & Etteme, G. (2017). The Role of Power Fluctuations in the Preference of Diagonal vs. Double Poling Sub-Technique at Different Incline-Speed Combinations in Elite Cross-Country Skiers. *Front Physiol*, 8(94),1-9.
- Dahl, H. A. (2007). *Klar – Ferdig – Gå: Grunnbok i aktivitetsfysiologi*. Oslo: Cappelen.
- di Prampero, P. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 90(3-4), 420-429.
- Hoffman, M., Clifford, P., Watts, P., Drobish, K., Gibbons, T., Newbury, V. et al. (1994). Physiological comparison of uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole. *Med Sci Sports Exerc*, 1284-1289.
- Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*, 12, 288-295.

- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Müller, E. (2005).
Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 807-18.
- Holmberg, H., Lindinger, S., Stöggl, T., Björklund, G., & Müller, E. (2006).
Contribution of the legs to double-poling performance in elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 1853-1860.
- Holmberg, H. C., Rosdahl, H. & Svedenhag, J. (2007). Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: influence of exercise mode. *Scand J Med Sci Sports*, 17, 437-444.
- Hopkins WG. (2004). How to interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience*, 8, 1–7. Hentet 10. mai 2018 fra <http://www.sportsci.org/jour/04/wghtests.htm>
- Ingjer, F. (1991). Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports*, 25-30.
- Kvamme, B., Jakobsen, B., Hetland, S. & Smith, G. (2005). Ski skating technique and physiological responses across slopes and speeds. *European Journal of Applied Physiology*, 95(2-3), 205-212.
- Lindinger, S., Stöggl, T., Müller, E. & Holmberg, H. (2008). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 210-220.

- Losnegard, T. (2013). Physiological determinants of performance in modern elite crosscountry skiing. Oslo: PhD Thesis. Norwegian School of Sport Sciences.
- Losnegard, T., Myklebust, H. & Hallén, J. (2012). Anaerobic Capacity as a Determinant of Performance in Sprint Skiing. *Med Sci Sports Exerc*, 44 (4), 673–681.
- Losnegard, T. & Hallen, J. (2014). Elite cross-country skiers do not reach their running VO₂max during roller ski skating. *J Sports Med Phys Fitness*, 54(4), 389-393.
- Losnegard, T., Schäfer, D. & Hallén, J. (2014). Exercise economy in skiing and running. *Front Physiol*, 1-6.
- Nilsson, J., Tinmark, F., Halvorson, K. & Arndt, A. (2013). Kinematic, kinetic and electromyographic adaptation to speed and resistance in double poling cross country skiing. *Eur J Appl Physiol* 113, 1385-1394.
- Nilsson, J., Tveit, P. & Eikrehagen, O. (2004). Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. *Sports Biomech*, 85-107.
- Nilsson, J.E., Holmberg, H.C., Tveit, P. & Hallén, J. (2004). Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*, 92, 121–127.
- Pellegrini, B., Zoppirolli, C., Bortolan, L., Holmberg, H., Zamparo, P. & Schena, F. (2013). Biomechanical and energetic determinants of technique selection in classical cross-country skiing. *Human Movement Science*, 1415-1429.

- Peronnet, F. & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Can J Sport Sci*, 16(1), 23-29.
- Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S. & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on $\dot{V}O_2$ -maks. *Journal of applied physiology*, 66, 2491 – 2495.
- Rud, B., Secher, N., Nilsson, J., Smith, G., & Hallén, J. (2014). Metabolic and mechanical involvement of arms and legs in simulated double pole skiing. *Scand J Med Sci Sports*, 913-919.
- Rud, B., Secher, N., Nilsson, J., Smith, G., & Hallén, J. (2014b). Metabolic balance between the arms and the legs during simulated skiing. *Scand J Med Sci Sports*, 913-919.
- 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. *Med Sci Sports Exerc*, 48(6), 1091-1100.
- Sandbakk, Ø., Leirdal, S., & Etteme, G. (2014). The physiological and biomechanical differences between double poling and G3 skating in world class cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*, 115, 483–487.
- Secher, N.H., Clausen, J.P., Klausen, K., Noer, I., & Trapp-Jensen, J. (1977). Central and regional circulatory effects of adding arm to leg exercise. *Acta Physiol Scand*, 100, 288-297.

Stadheim H.K., Kvamme B., Olsen R., Drevon C.A., Ivy J.L., Jensen J. (2013) Caffeine increases performance in cross-country double-poling time trial exercise. *Med Sci Sports Exerc* 45, 2175–2183.

Stadheim H.K., Nossum E.M., Olsen R., Spencer M., Jensen J. (2015) Caffeine improves performance in double poling during acute exposure to 2,000-m altitude. *J Appl Physiol* 119, 1501–1509,

Stadheim H.K., Spencer M., Olsen R., Jensen J. (2014). Caffeine and performance over consecutive days of simulated competition. *Med Sci Sports Exerc* 46, 1787–1796.

Stöggl, T., & Holmberg, H. C. (2016). Double-Poling Biomechanics of Elite Cross-country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Med Sci Sports Exerc*, 48(8), 1580-1589.

Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M., & Holmberg, H. C. (2011). General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing. *Scand J Med Sci Sports*, 791-803.

Strømme, S.B., Ingjer, F., & Meen H.D. (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J appl physiol*, 42(6), 833-837.

The International Ski Competition Rules: Book II Cross-Country. (2015). International Ski Federation Web site. Hentet 19. april 2018 fra: http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/02/95/69/ICRCross-Country2015_clean_Nov15_English.pdf

Wisløff, U. & Helgerud, J. (1998). Methods for evaluating peak oxygen uptake and anaerobic threshold in upper body of cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 30(6), 963-970.

Åstrand, P. O. & Saltin, B. (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of applied physiology*, 16 (6), 977 – 981.

Tabelloversik

Tabell 3.1: Antropometriske karakteristikk, VO_{2maks} og Fis-punkter til forsøkspersonene. Data er presenter som gjennomsnitt \pm Standardavvik (SD).....	20
Tabell 3.2: Ytre belastning for de ulike hastighetene. Alle data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.	22
Tabell 4.1: Fysiologiske målinger fra de submaksimale belastningene.Data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.....	29
Tabell 4.2: Fysiologiske data fra 3,5 min prestasjonstest. All data er presentert som gjennomsnitt \pm SD.....	30
Tabell 4.3: Kontakttid, slipptid, syklustid, % kontakttid og zCOM for STA_{flatt} og STA_{mot} . Alle data er presentert som gjennomsnitt \pm SD (n=11).	33
Tabell 5.1: VO_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ved staking for spesialstakere og distanseløpere. Data er snitt \pm SD.	39

Figuroversikt

Figur 2.1: Tidligere studier målte VO_{2maks} ved staking eller diagonalgang mot VO_{2maks} ved løp. Sandbakk et al., (2016) testet staking og diagonalgang, Losegard et al., (2014) testet staking, Holmberg et al., (2007) testet staking og diagonalgang, Strømme, Ingjer & Meen, (1977) testet diagonalgang. All data er presentert som gjennomsnitt.	14
Figur 2.2: Illustrasjon av staketeknikk iløpet av en syklus (0-100 %) for flatt og i motbakke Den grå linja som følger bevegelsen er COM. Illustrasjonene er hentet fra analysen i denne studien, og er et snitt fra alle FP (n = 11).....	17
Figur 3.1: Protokoll for testing av fysiologiske og kinematiske parametre.	21
Figur 3.2: Leddvinklene som ble undersøkt. a = albue, videreføring av overarmen, vinkel mot underarmen. Full ekstensjon er 0° . b = skulder, 0° angir nøytral stilling, + angir fleksjon, - angir ekstensjon. c = Hofte, 180° angir full ekstensjon. d = kne, 180° angir full ekstensjon. e = ankel, 180° angir full plantarfleksjon.	24
Figur 3.3: Målinger fra Kraftstavene og kraftplattform.....	26
Figur 4.1: Individuelt VO_{2maks} løp mot VO_{2peak} for de ulike teknikkene. Midtlinja ("line of identity") markerer lik VO_2 , markørene over linja har høyest VO_2 ved den aktuelle teknikken, mens markørene under har høyest VO_2 ved løp. Markørene med fyll er gjennomsnitt for hver teknikk.	31
Figur 4.2: Korrelasjonen mellom GE, VO_{2peak} og prestasjon for STA_{flatt} , STA_{mot} og DIA.	32

Figur 4.3: Vinkler og vertikal forflytning av COM fra den siste submaksimale hastigheten for STA_{flatt} og STA_{mot} . Linje markerer stavslipp. zCOM er presenter som differanse fra gjennomsnittlig plassering av COM, og forflytning oppover er tatt med i utregningene. Alle data er presentert som gjennomsnitt ($n = 11$).....	34
Figur 4.4: Kraft gjennom stavene ved staking. Data er presentert som gjennomsnitt fra begge stavene ($n = 6$).	35
Figur 5.1: Sammenhengen mellom VO_{2maks} for staking og løping. Midtlinja (line of identity) markerer lik VO_2	38
Figur 5.2: Effektivitet ved de tre Sub hastighetene. Data er presentert som gjennomsnitt.	40
Figur 5.3: Bevegelse gjennom en syklus ved STA_{flatt} og STA_{mot} . Figuren er et snitt fra alle forsøkspersonene, og normalisert.	42

Forkortelser

Forkortelse	Betegnelse
FP	Forsøksperson
STA_{flatt}	Staking med helning tilsvarende flatt terreng
STA_{mot}	Staking med helning tilsvarende bratt motbakke
$VO_{2\text{maks}}$	Det maksimale oksygenopptaket
$VO_{2\text{peak}}$	Det maksimale oppnådde oksygenopptaket på prestasjonstest
$O_2\text{-kostnad}$	Oksygenkostnaden
HF	Hjertefrekvens
HF_{peak}	Maksimale oppnådde hjertefrekvens
La-	Laktatkonsentrasjon i blodet
RER	Respiratorisk utvekslingskvotient
RPE	Opplevd anstrengelse (6-20)
VE	Ventilasjon
GE	Gross Efficiency
$\Sigma O_2\text{-underskudd}$	Estimert oksygenunderskudd
COM	Massemiddelpunkt
zCOM	Vertikal forflytning av masseiddelpunkt
Hz	Sykluser per sekund

Vedlegg I



Forespørsel om deltakelse i masterprosjektet

Fysiologisk og teknisk forskjeller mellom staking i flatt terreng og motbakke

Klassisk langrenn har de senere årene utviklet seg mye. Staking, som tradisjonelt har blitt benyttet i de flatere partiene av løypa, blir idag benyttet i både slak og bratt motbakke. Under verdenscupspriiten i Drammen, 2005, staka 6 av de 8 best plasserte løperne på blanke ski, og i langløp (Visma ski classics) er det nesten kun staking som benyttes av eliten. Foregående sesong (2016/2017) ble 13 av 14 renn i langløpscupen vunnet uten smurning under skia. På 15 kilometer i World cup har Martin Johnsrud Sundby vunnet ved kun å benytte seg av staking.

Utviklingen av staking skyldes tekniske og fysiologiske forandringer hos utøverne. Det meste av kunnskapen er om staking i lettere partier, og det er lite data på de fysiologiske kravene for staking i bratt motbakke.

Hovedhensikten med denne studien er derfor å undersøke fysiologiske og tekniske forskjeller mellom staking i flatt terreng og motbakke.

Hva innebærer PROSJEKTET?

Du må være tilgjengelig for totalt 3 økter, fordelt på 3 dager, som hver ta ca 90 minutter. Dag 1 vil bestå av en standardisert del, for så en del med muligheter for individuelle tilpasninger. Den standardiserte delen inneholder 3 drag a 6 minutter med 2minutter pause. Intensiteten vil være lik den du skal gå på dag 2. I tillegg skal du gå første halvdel av den maksimale testen. Dag 2 vil bestå av 6 drag a 5 minutter, med 2 minutter pause, der du skal stake flatt eller motbakke, samt gå diagonalgang i motbakke. Intensiteten på dragene vil være rolig til moderat anstrengelse. Videre

gjennomfører du 1 x 3 minutter diagonalgang med maksimal intensitet. Dag 3 vil bestå av 3 drag a 5 minutter med 2 minutter pause hvor du skal stoke motbakke eller flatt. Intensiteten vil være rolig til moderat. Du skal også gjennomføre 2 x 3 minutter staking i motbakke og flatt, med maksimal intensitet. De tre øktene bør gjennomføres innenfor et tidsrom på to uker.

I prosjektet vil vi registrere din alder, kjønn, høyde, vekt og resultater fra tester. Under testene vil oksygenopptaket måles, og det blir tatt laktatprøver. Opplysninger som registreres om deg som forsøksperson vil bli behandlet konfidensielt etter gjeldende regler for anonymitet. Vi vil også be om informasjon om antall timer du har trent det siste året, og fordelingen av timene på de ulike bevegelsesformene.

Mulige fordeler og ulemper

Fordeler

Du vil få laktatprofil og målt maksimalt oksygenopptak for staking ved to ulike stigninger, samt i diagonalgang. Du vil få tilgang til video fra øktene, som kan brukes til teknikkanalyse.

Ulemper

Deltakelse i studien vil kreve tid. Det må påberegnes å møte til testing totalt 3 dager. Ved alle tester vil det benyttes sikkerhetssele som forhindrer deg i å falle ned på mølla mens den kjøres og som automatisk vil stoppe båndet. Til tross for dette er det en viss risiko for skrubbsår ved fall under testingen. Ved oksygenmålinger benyttes det et munnstykke som kan oppleves noe ubehagelig, samt kan du oppleve å bli tørr i halsen. Dette er ikke skadelig og utstyr desinfiseres mellom bruk. Testene kan oppleves som meget anstrengende.

Frivillig deltakelse og mulighet for å trekke sitt samtykke

Det er frivillig å delta i prosjektet. Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke. Dersom du trekker deg fra prosjektet, kan du kreve å få slettet innsamlede prøver og opplysninger, med mindre opplysningene allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har spørsmål til prosjektet, kan du kontakte:

Prosjektmedarbeider:

Magne Lund Hansen på telefon 46449201 eller e-post: magnelh@student.nih.no

Prosjektleder:

Thomas Losnegard på telefon 997 34 184 eller e-post: thomas.losnegard@nih.no

Hva skjer med informasjonen om deg?

Informasjonen som registreres om deg skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Du har rett til innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg og rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene som er registrert.

Alle opplysningene vil bli behandlet konfidensielt og uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjenner opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger gjennom en navneliste. Dette betyr at denne informasjonen er aidentifisert. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet 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.

Blodprøvene som tas av deg blir destruert umiddelbart etter analyse.

Prosjektleder har ansvar for den daglige driften av forskningsprosjektet og at opplysninger om deg blir behandlet på en sikker måte. Aidentifiserte opplysninger lagres på en passordbeskyttet datamaskin med kryptert harddisk. Koblingsnøkkelen oppbevares innlåst og adskilt fra resterende opplysninger. Informasjon om deg vil bli oppbevart i 5 år etter prosjektslutt for etterprøvbarehet og kontroll, og slettes/ destrueres deretter.

Forsikring

NIH er en statlig institusjon og er dermed selvassurandør. Eventuelle skader på deltakere i forbindelse med prosjektet vil bli dekket av NIH.

Økonomi

Det gis ikke økonomisk honorar for å delta i prosjektet. Eventuelle ekstrautgifter i forbindelse med reise til og fra Norges idrettshøgskole.

Kostnader knyttet til prosjektet vil støttes gjennom forskningsmidler fra Seksjon for fysisk

prestasjonsevne ved Norges Idrettshøgskole. Det er ingen interessekonflikter knyttet til finansieringen av prosjektet.

Godkjenning

Prosjektet er godkjent av Lokal etisk komite og meldt inn til Norsk senter for forskningsdata saksnr. hos LEK (21-220817).

Samtykke til deltakelse i PROSJEKTET

Jeg er villig til å delta i prosjektet

Sted og dato

Deltakers signatur

Deltakers navn med trykte bokstaver