

Mali Godhei

---

## Effekten av akutt høydeeksponering på utnyttingsgrad

---

Masteroppgave i idrettsvitenskap  
Seksjon for fysisk prestasjonsevne  
Norges idrettshøgskole, 2021



## Sammendrag

**Bakgrunn:** Formålet med denne studien var å undersøke hva som skjer med utnyttingsgraden under en ~25 minutters prestasjonstest ved akutt eksponering for høyde (2000 moh.). Det er fra tidligere kjent at det maksimale oksygenopptaket ( $VO_{2maks}$ ) reduseres i større grad enn prestasjon ved mellomdistanser, mens både arbeidsøkonomien og den anaerobe kapasiteten er uendret. Utnyttingsgraden i høyden har til nå kun blitt undersøkt indirekte ved én anledning uten at det ble funnet noen forskjell fra havnivå.

**Metode:** Det ble rekruttert seks utholdenhetstrener deltakere (en kvinne og fem menn) i alderen 18–28 år med gjennomsnittlig  $VO_{2maks}$  på  $67,1 \pm 5,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Deltakerne møtte opp ved fem anledninger; en tilvenningsdag, to kontroll dager (laktatprofil-test +  $VO_{2maks}$ -test) og to eksperimentelle dager (~25 minutters prestasjonstest).

Kontrolldagene og de eksperimentelle dagene var hver for seg identiske, med unntak av at de ble gjennomført ved barometertrykk tilsvarende 300- og 2000 moh. (henholdsvis 977 og 799 mbar) i blindet randomisert rekkefølge. Målinger av oksygenopptaket ( $VO_2$ ), hjertefrekvens (HF), ventilasjon (VE), hemoglobinet oksygenmetning ( $S_pO_2$ ), laktatkonsentrasjon ( $[La^-]_{bl}$ ) og tid (prestasjon) ble utført. Effekten av høyde ble undersøkt ved å sammenligne resultatene ved 300- og 2000 moh.

**Resultater:** Prestasjonen og  $VO_{2maks}$  ble redusert fra 300 moh. til 2000 moh. med henholdsvis  $7,1 \pm 3,70 \%$  ( $p=0,005$ ) og  $9,7 \pm 3,08 \%$  ( $p=0,003$ ), mens utnyttingsgraden økte med  $5,9 \pm 2,7 \%$ -poeng ( $p=0,003$ ). Arbeidsøkonomien var uendret under de submaksimale testene, men ble dårligere i høyden under prestasjonstesten ved at deltakerne i gjennomsnitt brukte  $2,4 \pm 0,82 \%$  mer oksygen per meter.  $S_pO_2$  var lavere under prestasjonstesten ved 2000 moh. sammenlignet med 300 moh.

**Konklusjon:** Utnyttingsgraden under en ~25 minutters prestasjonstest øker ved akutt eksponering for høyde. Da også arbeidsøkonomien ble redusert i dette forsøket, ble reduksjonsforskjellen i  $VO_{2maks}$  og prestasjonen mindre enn forventet.

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Innhold .....</b>	<b>4</b>
<b>Forord.....</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning.....</b>	<b>8</b>
1.1 Problemstilling.....	9
<b>2. Teori .....</b>	<b>10</b>
2.1 Hva bestemmer prestasjon i kondisjonsidretter? .....	10
2.1.1 Det maksimale oksygenopptaket .....	10
2.1.2 Utnyttingsgrad.....	14
2.1.3 Arbeidsøkonomi.....	16
2.2 Høyde.....	17
2.2.1 Ved akutt eksponering for høyde .....	18
<b>3. Metode .....</b>	<b>20</b>
3.1 Deltakerne .....	20
3.2 Studiedesign .....	20
3.3 Målemetoder .....	22
3.3.1 Lavtrykkstanken.....	22
3.3.2 Måling av oksygenopptak .....	23
3.3.3 Måling av oksygenmetning.....	23
3.3.4 Måling av laktat .....	23
3.4 Testbatteri .....	24
3.4.1 Laktatprofil-test.....	24
3.4.2 VO <sub>2</sub> -maks-test .....	24
3.4.3 Time-trial (prestasjonstest) .....	25
3.5 Statistiske analyser .....	26
3.6 Smittevern .....	27
<b>4. Resultater .....</b>	<b>28</b>
4.1 Submaksimale belastninger.....	28
4.2 Maksimalt oksygenopptak.....	29
4.3 Prestasjonstesten .....	30
<b>5. Diskusjon .....</b>	<b>33</b>

5.1	Effekten av høyde på maksimalt oksygenopptak.....	33
5.2	Effekten av høyde på arbeidsøkonomi.....	35
5.3	Effekten av høyde på utnyttingsgrad .....	37
5.4	Effekten av høyde på prestasjon.....	38
5.5	Studiens begrensninger.....	41
5.6	Videre forskning.....	42
<b>6.</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>43</b>
	<b>Referanser .....</b>	<b>44</b>
	<b>Tabelloversikt .....</b>	<b>51</b>
	<b>Figuroversikt .....</b>	<b>52</b>
	<b>Forkortelser .....</b>	<b>53</b>
	<b>Vedlegg .....</b>	<b>55</b>

## Forord

Denne masteroppgaven har vært en tidkrevende, erfaringsrik, og tidvis frustrerende prosess hvor jeg har lært enormt mye. På grunn av Covid-19-situasjonen ble den mer utfordrende enn hva jeg så for meg da jeg startet, men jeg har lært meg hvor viktig det er å se løsninger fremfor problemer. Støtt og stadig har vi måttet gjøre endringer på planene ut ifra hvordan smittevernstiltakene har vært, og dette har stilt store krav til fleksibilitet til meg og samtlige bidragsyterne til prosjektet. På grunn av testing i en lukket tank har vi også måttet følge strenge smittevernstiltak, herunder både gjennomstrømningsmaske med filter som rensset luften jeg pustet inn, og en desinfiserende robot som desinfiserte hele tanken mellom hver deltaker. Dette medførte at vi måtte beregne mer tid mellom hver test i tillegg til at vi fikk et begrenset test-vindu for å gjennomføre studien. Som igjen har gjort at antallet deltakere er noe lavere enn tenkt i planleggingsfasen. I denne oppgaven har jeg benyttet referansestilen APA 7 i henhold til NIHs retningslinjer.

Nå som jeg er ferdig med dette prosjektet vil jeg si at gjennomføringen har gått relativt bra ut ifra forutsetningene og forventningene jeg hadde når Covid-19 sto på som verst. Dette er takket være flere behjelpelige og personer som fortjener annerkjennelse for den jobben de har gjort og støtten de har vist!

Først og fremst vil jeg starte med å takke min veileder **Jostein Hallén** for opplæring, gode innspill og veiledning gjennom året. Du har alltid vært behjelpelig når jeg har trengt det og din enorme kunnskap for feltet har lært meg mye!

Videre vil jeg takke **Svein Leirstein** for grundig opplæring rundt testing samt uttalelige timer på utsiden av lavtrykkstanken, og **Magne Lund Hansen** for hjelp til utfordringer som skulle dukke opp. Tusen takk til **Nathalie Cathrin Aluwini** for godt samarbeid i hele planleggingsfasen og mange artige timer på labben under opplæringen. Takk til alle som lot seg teste i forkant av prosjektet og ga en noe uerfaren student trygghet i rollen som testleder! Samt en enorm takk til **mine spreke deltakere** som bidro med både svette og smerte for at jeg skulle få gjennomført studien!

Jeg vil takke **May Elena, Eirik og Thomas** for at dere tok dere tid til å lese gjennom oppgaven og komme med tilbakemeldinger. Tusen takk til de fantastiske **studentene** på NIH som har bidratt til å gjøre mine tre år på skolen uforglemmelige!

Tusen takk til **mamma** og **pappa** for en enorm støtte i det jeg gjør og for at jeg alltid kan ringe dere om det er noe! Jeg vil også takke **Malin** for at du alltid er der for meg, du har hjulpet meg gjennom tøffe tider hvor ingenting går som jeg vil og når jeg føler alt går bakover hjelper du meg fremover!

Til sist vil jeg avslutte med å takke mine samboere **Eirik** og **Thomas** som har holdt ut med meg gjennom denne berg-og-dal-banen av et år! Thomas, du har vært min viktigste støttespiller gjennom dette året og du har hjulpet meg både gjennom gode og dårligere dager. Du har pushet meg og oppmuntret meg når det trengs, samt hjulpet meg å ta pauser når dette var nødvendig. Uten deg hadde dette året og arbeidet vært umåtelig mye tyngre! Jeg er uendelig takknemlig!

*Mali Godhei*

Oslo, juni, 2021

# 1. Innledning

Prestasjonen innen kondisjonsidretter bestemmes av de fire faktorene aerob kapasitet, bestående av det maksimale oksygenopptaket ( $VO_{2maks}$ ) og utnyttingsgraden, anaerob kapasitet og arbeidsøkonomi (Joyner & Coyle, 2008, s. 37).

$VO_{2maks}$  setter en øvre grense for den aerobe metabolismen under en konkurranse (Bassett & Howley, 2000, s. 70), mens utnyttingsgraden bestemmer hvor stor del av  $VO_{2maks}$  en utøver evner å utnytte gjennom en bestemt distanse eller tid (Bassett & Howley, 2000, s. 79). Utnyttingsgraden knyttes tett opp mot den anaerobe terskelen (laktatterskel), som defineres som den høyeste intensiteten hvor det er likevekt mellom produksjonen og eliminasjonen av laktat (Coyle, 1999, s. 185). Ved intensitet over laktatterskel bestemmer den anaerobe kapasiteten hvor mye energi som kan frigjøres uten tilgang på oksygen ( $O_2$ ) (Bahr et al., 1991, s. 63) og dermed hvor lenge utøverne kan utnytte de anaerobe energilagrene før de når utmattelse. Arbeidsøkonomien er et mål på hvor mye  $O_2$  en utøver forbruker for å løpe på en bestemt hastighet eller arbeide på en bestemt belastning (Bassett & Howley, 2000, s. 78).

Varigheten og intensiteten på arbeidet avgjør betydningen av de ulike faktorene, og utnyttingsgradens viktighet øker med lengre varighet. Ettersom en intensitet tilsvarende 100 % av  $VO_{2maks}$  kun kan opprettholdes i 3–10 minutter (Bosquet et al., 2002, s. 679), vil alle konkurranser som overgår dette i stor grad påvirkes av utnyttingsgraden.

I høyde reduseres partialtrykket av oksygen ( $PO_2$ ) i den inspirerte luften ( $P_{iO_2}$ ) og dermed også  $O_2$ -metningen av hemoglobin i det arterielle blodet ( $S_aO_2$ ). Studier som har undersøkt hva dette innebærer for de prestasjonsbestemmende faktorene har funnet at  $VO_{2maks}$  faller lineært med økende høyde, men at graden av fall avgjøres av treningstilstanden til testdeltakerne (Lawler et al., 1988, s. 1488; Mollard et al., 2007b, s. 666; Wehrlin & Hallén, 2006, s. 407). Videre ser det ut til at verken arbeidsøkonomien eller den anaerobe kapasiteten endres ved eksponering for høyde (Friedmann et al., 2007, s. 69; Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408). Utnyttingsgraden har vært lite studert og til nå er det kun én studie som indirekte har undersøkt denne, uten å finne en signifikant forskjell mellom høyde og havnivå (Périard & Racinais, 2016, s. 848). Av studier som har undersøkt prestasjonen ved akutt eksponering, har majoriteten



studert prestasjonen ved kortvarig maksimal intensitet, mens kun et fåtall har gjennomført konkurranselignende tester til utmattelse (Liao et al., 2019, s. 1809; MacLeod et al., 2015, s. 363). Av disse ser det ut til at prestasjonen på konkurranselignende tester reduseres i mindre grad enn  $VO_{2maks}$ . Dette gjør det mulig å anta at noe må kompensere for denne forskjellen. Når vi legger til grunn at arbeidsøkonomien og anaerob kapasitet er uendret, gjenstår da utnyttingsgraden som en mulig kompenserende faktor.

### **1.1 Problemstilling**

Er utnyttingsgraden høyere ved 2000 meters høyde sammenlignet med havnivå ved en konkurransevarighet på ca. 25 minutter?

## 2. Teori

### 2.1 Hva bestemmer prestasjon i kondisjonsidretter?

Innen typiske kondisjonsidretter, som for eksempel løping og sykling, bestemmes prestasjonen av hvor hurtig utøverne kan forflytte seg fra start til mål (Hallén & Ronglan, 2011, s. 221), altså utøverens gjennomsnittlige hastighet. Hastigheten bestemmes av hvor mye energi kroppen klarer å omsette i tillegg til hvor effektivt den blir omsatt (Bassett & Howley, 2000, s. 77). Faktorene som bestemmer dette er utøverens anaerobe kapasitet, arbeidsøkonomi og den maksimale aerobe kapasiteten, bestående av  $VO_{2maks}$  og utnyttingsgraden (Joyner & Coyle, 2008, s. 37). De ulike faktorenes betydning for prestasjonen bestemmes i stor grad av type arbeid som skal gjennomføres i kombinasjon med varigheten på dette. Under kortvarig arbeid med høy intensitet er det behov for mye energi hurtig, og dermed dominerer de anaerobe prosessene (Gastin, 2001, s. 737). Når varigheten på arbeidet øker, øker også betydningen av at energiomsetningen foregår aerobt, og dermed stilles det større krav til den aerobe kapasiteten (Bassett & Howley, 2000, s. 77). Innenfor idretter med lengre varighet og varierende intensitet, som for eksempel langrenn, vil både den aerobe og anaerobe kapasiteten være avgjørende for prestasjonen (Losnegard, 2019, s. 4).

#### 2.1.1 Det maksimale oksygenopptaket

Det maksimale oksygenopptaket defineres som den maksimale mengden  $O_2$  kroppen kan ta opp og utnytte per tidsenhet (Bassett & Howley, 2000, s. 70).  $VO_{2maks}$  representerer dermed en viktig referanseverdi for et individs aerobe prestasjonsevne (Joyner & Coyle, 2008, s. 37), og er sannsynligvis det mest brukte fysiologiske parameteren når kapasiteten til utholdehetstrente skal vurderes (Ingjer, 1991, s. 25). Mannlige eliteutøvere innen kondisjonsidretter har gjerne en  $VO_{2maks}$  mellom 70–85  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ , mens kvinner ligger ~10 % lavere (Joyner & Coyle, 2008, s. 37). Det er videre sett en sterk korrelasjon mellom en høy  $VO_{2maks}$  og prestasjon hos både menn og kvinner (Ingjer, 1991, s. 29).

Fick's likning beskriver hovedfaktorene som er med på å bestemme  $VO_{2maks}$ .

**$VO_2 = (\text{hjertefrekvens} \cdot \text{slagvolum}) \cdot a-vO_2\text{-differansen}$**

McArdle et al. (2010, s. 341)

Under arbeid øker O<sub>2</sub>-kravet med økende intensitet, hvilket presser O<sub>2</sub>-transportsystemet opp til sitt maksimale ved maksimalt arbeid (Calbet & Lundby, 2009, s. 123). O<sub>2</sub> fraktes fra atmosfærisk luft og inn i mitokondriene gjennom fire steg som alle kan fremme eller begrense O<sub>2</sub>-opptaket (VO<sub>2</sub>). De fire stegene består av tre sentrale; lungenes diffusjonskapasitet, minuttvolumet (MV) og blodets kapasitet for å frakte O<sub>2</sub>, og et perifert; muskulaturens evne til å utnytte seg av det tilbudte O<sub>2</sub> (Bassett & Howley, 2000, s. 72).

Av de overnevnte faktorene er det i hovedsak de tre sentrale som anses begrensende for VO<sub>2maks</sub> (Skattebo et al., 2020, s. 2). Bakgrunnen for dette er at muskulaturens kapasitet til å øke blodtilførselen og dermed også VO<sub>2</sub> overgår hjertets evne til å pumpe tilstrekkelig med O<sub>2</sub>-rikt blod til muskulaturen under maksimalt helkroppsarbeid (Saltin, 1985, s. 46d).

#### *De sentrale faktorene*

**Lungenes diffusjonskapasitet** – diffusjonen i lungene drives av forskjeller i partialtrykket til oksygen (PO<sub>2</sub>) og karbondioksid (PCO<sub>2</sub>). O<sub>2</sub>-rik luft fraktes ned gjennom ventilasjonssystemet og inn i alveolene som er omgitt av et tett kapillærnettverk hvor O<sub>2</sub>-fattig blod ankommer fra lungearteriene. O<sub>2</sub>-gradienten mellom alveolene (P<sub>A</sub>O<sub>2</sub>) og arteriene (P<sub>a</sub>O<sub>2</sub>) opprettholder diffusjonshastigheten av O<sub>2</sub> over i blodbanen, og denne bestemmes av ventilasjonen (VE) og tiden blodet bruker gjennom lungekapillærene. Diffusjonen av O<sub>2</sub> foregår frem til det er likevekt mellom P<sub>A</sub>O<sub>2</sub> og P<sub>a</sub>O<sub>2</sub> eller til de røde blodcellene som tar opp O<sub>2</sub> går over i lungevenene. I kapillærene binder O<sub>2</sub> seg til hemoglobinet (Hb) inne i de røde blodcellene og fraktes videre ut til resten av kroppen. Under normale forhold i hvile er 98% av Hb mettet for O<sub>2</sub> (McArdle et al., 2010, s. 277), mens O<sub>2</sub>-metningen ved maksimalt arbeid ligger rundt 95% (Powers et al., 1989, s. 2492).

Hos friske utrente personer anses ikke diffusjonskapasiteten som en begrensende faktor for VO<sub>2maks</sub> ettersom de har mye å gå på før lungenes maksimale kapasitet nås (McArdle et al., 2010, s. 299). Hos godt utholdenhetstrengte er det derimot sett en lav S<sub>a</sub>O<sub>2</sub> ved intensiv trening, hvilket knyttes til manglende ventilatorisk respons, i form av lite eller ingen hyperventilering (Dempsey et al., 1984, s. 172), i tillegg til et høyt MV som reduserer tiden tilgjengelig for diffusjon (Bassett & Howley, 2000, s. 73; Skattebo

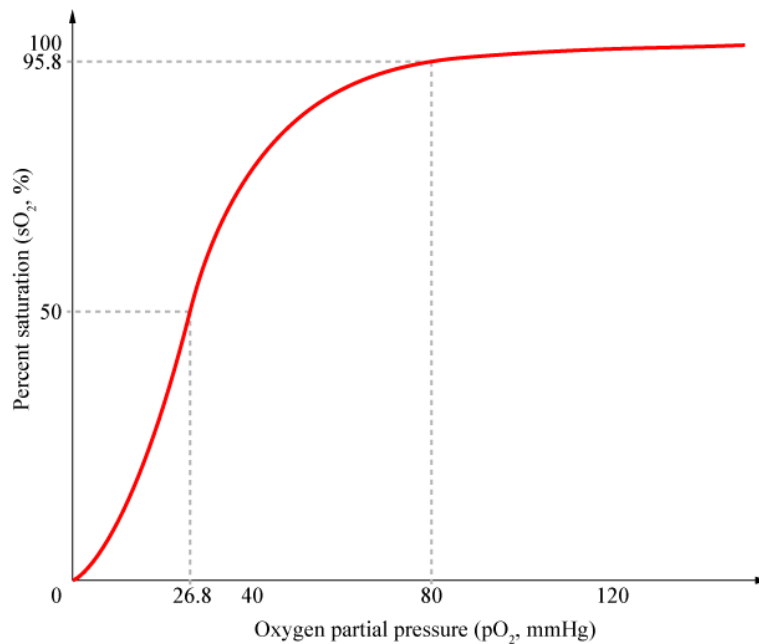
et al., 2020, s. 2). Når  $S_aO_2 \leq 92\%$  omtales dette som arbeids-indusert arteriell hypoksemi (EIAH) (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408), og kan indikere at utøverne da nærmer seg en brattere del av hemoglobinetts dissosiasjonskurve (Ferretti et al., 1997, s. 235).

**Minuttvolumet** – Økning i det maksimale minuttvolumet ( $MV_{maks}$ ) er den mest karakteristiske endringen ved utholdenhetstrening og utgjør det største skillet mellom trente og utrente (McArdle et al., 2010, s. 465). Ved hvile er  $MV \sim 5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  og dette kan øke opp til  $40 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  hos ekstremt utholdenhetstrente sammenlignet med  $25 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  hos utrente under hardt arbeid (Bassett & Howley, 2000, s. 73; McArdle et al., 2010, s. 347). Det høye  $MV$  medfører at en større mengde  $O_2$  fraktes til muskulaturen per minutt og dermed er mer  $O_2$  tilgjengelig for å ekstraheres inn i muskulaturen og utnyttes (Skattebo et al., 2020, s. 12). Det høye  $MV$  hos godt trente bestemmes i hovedsak av et høyere slagvolum (SV) ettersom det er sett at hjerterefrekvensen (HF) ser ut til å være lik eller noe lavere hos trente (Bassett & Howley, 2000, s. 73; Midgley et al., 2006, s. 123). Videre er det også sett av Zhou et al. (2001, s. 1850) at SV hos utholdenhetstrente fortsetter å øke opp mot maksimalt arbeid, mens det hos utrente når et platå ved 40–50 % av den maksimale hjerterefrekvensen ( $HF_{maks}$ ), hvilket er svært avgjørende for forskjellen i  $MV_{maks}$ . Fysiologiske adaptasjoner som forklarer det høye SV er et større blodvolum (BV) i tillegg til et større volum i venstre ventrikkel og tilstrekkelig ettergivende hjertekamre (Skattebo et al., 2020, s. 8; Sutton, 1992, s. 130).

**Blodets  $O_2$ -bærende kapasitet** – Blodets kapasitet til å frakte  $O_2$  bestemmes av hemoglobinkonsentrasjonen ( $[Hb]$ ) i blodet, tillegg til Hbs  $O_2$ -metning (Skattebo et al., 2020, s. 2). Normalt inneholder en dl blod  $\sim 15 \text{ g Hb}$  ( $\sim 14 \text{ g}$  for kvinner), og ett gram Hb kan bære  $\sim 1,34 \text{ ml } O_2$ . Dette tilsvarer  $19,7 \text{ ml } O_2$  per dl blod når Hb er 98 % mettet, men blir noe lavere når blodets  $O_2$ -metning synker (McArdle et al., 2010, s. 276-278).

Hb sin affinitet for  $O_2$  bestemmes av  $PO_2$  og beskrives av hemoglobinetts dissosiasjonskurve (McArdle et al., 2010, s. 278). Kurven har en sigmoid form hvor den er relativt flat når  $PO_2$  er mellom 60–100 mmHg, noe som innebærer at det kun vil forekomme små endringer i Hbs affinitet for  $O_2$ , og dermed  $S_aO_2$  i dette verdispenet. Videre er kurven bratt i området 10–60 mmHg, så dersom  $PO_2$ -verdiene er innenfor dette kan kun en liten endring i disse medføre store endringer i  $S_aO_2$  (Widmaier et al.,

2016, s. 463). Andre faktorer som påvirker Hb's affinitet for  $O_2$  er blodets pH,  $CO_2$ -konsentrasjon og temperatur. Under fysisk aktivitet øker temperaturen, blodets pH blir lavere og konsentrasjonen av  $CO_2$  blir høyere, hvilket forskyver kurven mot høyre og reduserer affiniteten. Følgelig øker  $O_2$ -frigjøringen fra Hb og dette kalles Bohr-effekten (McArdle et al., 2010, s. 279). Avhengig av  $PO_2$  har dette stor eller liten effekt på  $S_aO_2$ .



**Figur 1:** Hemoglobins dissosiasjonskurve viser sammenhengen mellom partialtrykket til oksygen ( $PO_2$ ) og hemoglobins oksygenmetning i arterielt blod ( $S_aO_2$ ). Hemoglobin saturation curve, av Rehua, 2014, Wikimedia Commons, ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin\\_saturation\\_curve.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin_saturation_curve.svg))

*Den perifere faktoren*

**Muskulaturens evne til å utnytte seg av  $O_2$**  – I muskulaturen dissosieres  $O_2$  fra Hb og diffunderer ut av de røde blodcellene, gjennom plasma og kapillærveggen og til slutt inn i mitokondriene fasilisert av myoglobin (Wagner, 1996, s. 37). Hvor mye  $O_2$  som tas opp angis av blodstrømmen og  $O_2$ -differansen mellom arterielt og venøst blod ( $a-vO_{2diff}$ ), og desto større differansen er desto mer  $O_2$  er tatt opp i muskulaturen.  $O_2$ -opptaket til muskulaturen bestemmes i stor grad av blodgjennomstrømningen i kombinasjon med [Hb], samt de overnevnte faktorene som påvirker Hb sin affinitet (Skattebo et al., 2020, s. 13).

Når intensiteten på et arbeid øker, øker  $O_2$ -forbruket i mitokondriene og cellulær  $PO_2$  reduseres. For å sørge for tilstrekkelig  $O_2$ -tilførsel distribueres da blod fra andre organer

til den arbeidende muskulatur slik at blodgjennomstrømningen øker (Skattebo et al., 2020, s. 11). I tillegg bidrar Bohr-effekten og den reduserte  $PO_2$  i cellene til at mer  $O_2$  kan ekstraheres fra blodbanen slik at  $a-vO_{2diff}$  øker (McArdle et al., 2010, s. 279). Muskulaturens evne til å ekstrahere  $O_2$  er generelt større hos utholdenhetstrente, hvilket skyldes skjelettmuskulaturens enorme evne til å tilpasse seg trening. De muskulære adaptasjonene som forekommer som resultat av utholdenhetstrening er økt kapillærtetthet, økt mitokondrietetthet og enzymaktivitet i mitokondriene samt en endring i muskelfibersammensetningen mot en større oksidativ kapasitet (Andersen & Henriksson, 1977, s. 682; Holloszy & Coyle, 1984, s. 833). Disse adaptasjonene øker både hastigheten og effektiviteten på de metabolske reaksjonene i muskulaturen som dermed kan bidra til å øke utholdenheten (Widmaier et al., 2016, s. 421). Uavhengig av treningsgrunnlag vil ekstraksjonen sjelden overskride 90 % til og med hos eliteutøvere (Skattebo et al., 2020, s. 8).

### **2.1.2 Utnyttingsgrad**

Utnyttingsgraden forteller hvor stor del av  $VO_{2maks}$  en utøver klarer å utnytte over en bestemt distanse eller tid, og defineres som prosent av  $VO_{2maks}$  (Bassett & Howley, 2000, s. 79). Det er sett at utøvere kun kan opprettholde en intensitet tilsvarende  $VO_{2maks}$  i ~3–10 minutter (Bosquet et al., 2002, s. 679) og dermed vil varigheter over dette gi en utnyttingsgrad under 100 %. For eksempel vil en utøver under en 10 km utnytte 90–100 % av  $VO_{2maks}$ , mens under et maraton vil løperen i gjennomsnitt utnytte 75–85 % (Joyner & Coyle, 2008, s. 37).

Utnyttingsgraden varierer i stor grad mellom individer og dens betydning for prestasjonen øker ved økende konkurransevarighet (Davies & Thompson, 1979, s. 241; Midgley et al., 2006, s. 119). For eksempel er sett en stor forskjell i utnyttingsgraden mellom utholdenhetstrente utøvere og utrente med henholdsvis 87 % mot 50 % under en times arbeid, og 83 % mot 35 % når arbeidet skulle foregå i to timer (Åstrand & Rodahl, 1970, referert i Bassett & Howley, 2000, s. 79). Evnen til å opprettholde en høy prosent av  $VO_{2maks}$  over tid bestemmes av de muskulære adaptasjonene som forekommer ved utholdenhetstrening og er tett knyttet til evnen til å utsette både laktatakkumulering og tømming av glykogenlagrene (Coyle et al., 1988, s. 2629; Holloszy & Coyle, 1984, s. 836).

Produksjonen av laktat avgjøres i stor grad av muskelfibersammensetning i tillegg til skjelettmuskulaturens oksidative kapasitet. Hos utholdenhetstrete utøvere ses det ofte en stor prosentandel type I muskelfibre som har en stor oksidativ kapasitet, i tillegg til at også type II muskelfibre gjennom utholdenhetstreningen over tid har blitt mer oksidative (Hollooszy & Coyle, 1984, s. 833; Sjödin & Svedenhag, 1985, s. 84-85). Økningen i skjelettmuskulaturens oksidative kapasitet skjer både ved at størrelsen og antallet mitokondrier øker, i tillegg til at det forekommer en økning i konsentrasjonen av de oksidative enzymene (Hollooszy & Coyle, 1984, s. 832). Dette innebærer at det for en gitt arbeidsbelastning kreves mindre av muskulaturens maksimale kapasitet, hvilket dermed kan medføre mindre forstyrrelser i homeostasen som følge av en redusert laktatproduksjon, samt en økt evne til å utnytte fett (Hollooszy & Coyle, 1984, s. 836). Evnen til å utnytte seg av fett er unik hos type I muskelfibre og medfører at både blodglukosen og muskelens glykogenlagre spares, hvilket er avgjørende for å unngå utviklingen av utmattelse under langvarig utmattende trening (Hollooszy & Coyle, 1984, s. 835; Joyner & Coyle, 2008, s. 40). I en studie av Costill et al. (1977, s. 696-697) fant de at dersom tilgjengeligheten på frie fettsyrer i plasma var høyere, var både forbruket av karbohydrater og produksjonen av laktat under løping på 68 % av  $VO_{2maks}$ , lavere.

Adaptasjonene til utholdenhetstrening innebærer også en økning i antallet kapillærer per muskelfiber og en større kontaktflate mellom kapillærene og muskulaturen. Dette medfører at blodet får lengre tid gjennom kapillærene, det blir et større overflateareal for diffusjon og en kortere diffusjonsavstand mellom blod og muskulatur (Skattebo et al., 2020, s. 13), hvilket kan bidra til å øke eliminasjonen av laktat og andre muskelutmattende metabolitter (Joyner & Coyle, 2008, s. 39). Denne økte eliminasjonen gjør at mer laktat kan produseres med en høyere hastighet før akkumuleringen starter og dermed utsette utmattelse ved en gitt laktatproduksjon (Joyner & Coyle, 2008, s. 39; McArdle et al., 2010, s. 164). Videre bidrar den økte muskelkapillærtettheten til at mer  $O_2$  kan fraktes til og tas opp i muskulaturen, også under intensivt arbeid når blodtilførselen er svært høy (Skattebo et al., 2020, s. 13). Sammen tilrettelegger dette for at den aerobe metabolismen kan opprettholdes ved en høyere intensitet eller at en gitt intensitet kan opprettholdes lengre.

Evnen til å opprettholde en høy intensitet over tid knyttes sterkt opp mot laktatterskelen og ved hvilket  $VO_2$  laktatterskelen er (Bassett & Howley, 2000, s. 78). Laktatterskelen

defineres som den høyeste intensiteten hvor produksjonen og eliminasjonen av laktat er like stor (Coyle, 1999, s. 185) og ved en laktatterskel på en høy prosent av  $VO_{2maks}$  vil den aerobe energiomsetningen foregå ved en høyere intensitet før den anaerobe energiomsetningen begynner å bidra vesentlig (Acevedo & Goldfarb, 1989, s. 565). Dette ble sett på som avgjørende for prestasjonen under en «tid til utmattelse»-test på 88 % av  $VO_{2maks}$  av Coyle et al. (1988), hvor deltakere med samme  $VO_{2maks}$  ble delt i to grupper avhengig av om de hadde en laktatterskel på en høy eller lav prosent av  $VO_{2maks}$ , henholdsvis i gjennomsnitt 81,5 % mot 65,8 %. Resultatene viste at hos gruppen med høy laktatterskel var tid til utmattelse dobbelt så lang sammenlignet med gruppen med en lav laktatterskel, i tillegg til at gruppen med en høy laktatterskel hadde en lavere laktatkonsentrasjon ved utmattelse (Coyle et al., 1988, s. 2623).

### **2.1.3 Arbeidsøkonomi**

Arbeidsøkonomien sier noe om hvor mye  $O_2$  som kreves for å løpe på en bestemt hastighet eller arbeide på en bestemt belastning (Bassett & Howley, 2000, s. 78), og desto mindre  $O_2$  som kreves, desto bedre er arbeidsøkonomien (Larsen, 2003, s. 167). Forholdet mellom submaksimal løpshastighet og  $VO_2$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) har vist seg å være lineær hos hvert enkelt individ, men det er imidlertid sett store inter-individuelle forskjeller (Bassett & Howley, 2000, s. 78). For eksempel kan  $O_2$ -kostnaden for å løpe på en gitt hastighet variere med hele 30–40 % mellom individer, mens  $O_2$ -kostnaden ved sykling på en gitt effekt varierer med 20–30 % (Joyner & Coyle, 2008, s. 40). Disse store forskjellene kan forklares ved at arbeidsøkonomien bedres gjennom flere år med trening både innen løping og sykling. Innen løping ble det fra 1992–2003 gjennomført case-studie på daværende verdensrekordholder på maraton, hvor det ble sett en 15 % forbedring i arbeidsøkonomien (Jones, 2006, s. 109). Gjennom treningsperioden på 11 år forekom det lite endringer i  $VO_{2maks}$  og ved starten på studien sammenlignet med slutten var  $VO_{2maks}$  tilnærmet samme. Derimot var endringen i hastigheten ved  $VO_{2maks}$  stor, hvilket gjorde det mulig at både den absolute og relative intensiteten kunne utføres på en høyere hastighet. Innen sykling ble det sett en 8 % forbedring i arbeidsøkonomien gjennom en 7 års periode hos en elitesyklist (Coyle, 2005, s. 2192).

Arbeidsøkonomien bestemmes av både fysiologiske og biomekaniske forhold i tillegg til antropometriske egenskaper, trening og ytre mekaniske forhold (Saunders et al., 2004, s. 470) og hvilken idrett som utøves er av stor betydning for hvor stor innvirkning



de ulike faktorene vil ha. For eksempel er det sett at en stor prosentandel type I muskelfibre er svært viktig for en god arbeidsøkonomi innen sykling (Coyle, 1995, s. 55), mens arbeidsøkonomien innen løping i større grad også bestemmes av biomekaniske faktorer og teknikk (Jones, 2006, s. 112; Joyner & Coyle, 2008, s. 41). Dette forklares ved at løping er en mer avansert bevegelse slik at et samspill mellom flere faktorer blir avgjørende (Joyner & Coyle, 2008, s. 41). De ytre mekaniske faktorene som påvirker arbeidsøkonomien er eksempelvis høydeeksponering og varme (Saunders et al., 2004, s. 470).

## **2.2 Høyde**

Det har i lang tid vært interesse rundt hva som skjer med prestasjonen og de prestasjonsbestemmende faktorene når utøvere utsettes for høyde. Det hele startet i 1968 under Olympiske Leker i Mexico City på 2340 meter over havet (moh.), hvor det ble tatt flere nye verdensrekorder innenfor korte distanser som sprint og hopp, mens det under lengre konkurranser (>800 m) kun ble prestasjoner under de gamle verdensrekordene (Jokl et al., 1969, s. 309). For eksempel så Jokl et al. (1969, s. 309) da at prestasjonen på 400 m økte med 1–2 %, mens prestasjonen ved 5000 m ble redusert med ~6 %. Bedringen i prestasjon under de korte distansene forklares av det reduserte lufttrykket i høyde, som medfører en lavere luftmotstand som er til fordel for utøverne når hastigheten er høy (Hamlin et al., 2015, s. 885). Under de lengre konkurransene med lavere løpshastighet og et større aerobt bidrag, opplever deltakerne derimot ikke en like stor fordel av den reduserte luftmotstanden i tillegg til at reduksjonen av PO<sub>2</sub> reduserer den aerobe kapasiteten.

Studier som har utført laboratorieforsøk for å undersøke de prestasjonsbestemmende faktorene, samt prestasjonen har sett at VO<sub>2maks</sub> reduseres lineært med økende høyde (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 407) og at størrelsen på reduksjonen avgjøres av hvor godt trente utøverne er (Lawler et al., 1988, s. 1488; Mollard et al., 2007b, s. 666). Videre forekommer det verken en endring i den fysiologiske arbeidsøkonomien, som blant annet har blitt undersøkt inne på tredemølle ved både 300-, 800-, 1300-, 1800-, 2300- og 2800 moh., eller i den anaerobe kapasiteten mellom havnivå og 2500 moh. (Friedmann et al., 2007, s. 69; Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408). Til nå er utnyttingsgraden kun studert indirekte ved én anledning, som ikke fant en signifikant forskjell i høyden (Périard & Racinais, 2016, s. 848). Påvirkningen av høyde på

prestasjon ser ut til å variere avhengig av varighet ved at prestasjonen i større grad ble redusert under en 10 km tidstest sammenlignet med en 40 km tidstest (Liao et al., 2019, s. 1809; MacLeod et al., 2015, s. 363).

### **2.2.1 Ved akutt eksponering for høyde**

Med økende høyde reduseres det barometriske trykket og  $PO_2$ , og som et resultat av dette også  $P_{I}O_2$  (McArdle et al., 2010, s. 592). Reduksjonen i  $P_{I}O_2$  reduserer  $O_2$ -gradienten mellom lungene og lungekapillærene slik at mindre  $O_2$  diffunderer over i blodbanen, hvilket kan medføre at  $S_aO_2$  blir lavere. Reduksjonen av  $O_2$  i blodbanen vil videre kunne redusere  $O_2$ -gradienten mellom muskelkapillærer og mitokondriene som til slutt medfører at mindre  $O_2$  ekstraheres i muskulaturen (Calbet & Lundby, 2009, s. 129).

I hvile og ved arbeid på lav intensitet sørger den sigmoide formen til hemoglobinet dissosiasjonskurve for at det kun forekommer små endringer i  $S_aO_2$  opp til ~3000 moh. (McArdle et al., 2010, s. 593). Når intensiteten øker, reduseres derimot  $S_aO_2$  (Lawler et al., 1988, s. 1488) og ved maksimalt arbeid er det sett en reduksjon i  $S_aO_2$  allerede ved 580 moh. (Gore et al., 1996, s. 2206). Ved submaksimale belastninger i høyden kan en økning i HF og blodgjennomstrømningen til den arbeidende muskulaturen kompensere for opptil 20% reduksjon i  $O_2$ -konsentrasjonen i arterielt blod ( $C_aO_2$ ) (Calbet & Lundby, 2009, s. 128), og dermed også sørge for at reduksjonen i  $S_aO_2$  ikke blir så stor. Under maksimalt arbeid i høyden er derimot både HF og blodtilførselen uendret i forhold til lavlandet (Calbet & Lundby, 2009, s. 129) og dermed vil endringene i  $PO_2$  allerede ved 580 moh. være nok til å redusere  $S_aO_2$ .

I en studie av Wehrlin og Hallén (2006, s. 409-410) så de at reduksjonen i  $S_aO_2$  målt ved pulsoksimeter ( $S_pO_2$ ) hadde en kurvelineær reduksjon med økende høyde fra 300–2800 moh. hvor fallet i  $S_pO_2$  var større mellom 1800–2800 moh. sammenlignet med 300–1300 moh. Under maksimalt arbeid var derimot reduksjonen fra 300–2800 moh. lineær, noe som både skyldtes at  $S_pO_2$  var lavere under maksimalt arbeid og at Bohr-effekten ytterligere bidro til å øke reduksjonen (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 409).  $S_pO_2$  var lavere under maksimalt arbeid ved alle de ulike høydene (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 409-410).

En fysiologisk respons når  $P_{A}O_2$  reduseres som resultat av høyde, er å øke VE (Dempsey & Forster, 1982, s. 269). Ved en absolutt intensitet er det sett at denne kan være noe høyere sammenlignet med havnivå, demonstrert gjennom en høyere ventilatorisk ekvivalent ( $VE/VO_2$ ) (Calbet & Lundby, 2009, s. 124). Hyperventilering som respons av høyde er sett at kan bidra til å øke mengden  $O_2$  i blodet både ved at mer  $CO_2$  elimineres og luften i lungene fornyes, slik at  $P_{A}O_2$  øker, og ved at hemoglobinetts dissosiasjonskurve forskyves mot venstre slik at  $S_aO_2$  blir høyere for et gitt  $P_{A}O_2$  (Calbet & Lundby, 2009, s. 124; Lundby et al., 2006, s. 543). Hos utholdenhetstrente er det sett at VE øker i mindre grad under hardt arbeid i høyde (Lawler et al., 1988, s. 1487), i tillegg til at det også forekommer en mindre grad av hyperventilering, reflektert gjennom en lavere  $P_{A}O_2$  samt en lavere ventilatorisk ekvivalent for både  $O_2$  og  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ) (Gore et al., 1996, s. 2209). Denne underventileringen hos godt trente ved hypoksi kan dermed ytterligere begrense gassutvekslingen (Lawler et al., 1988, s. 1491) og da i større grad redusere  $S_aO_2$  dersom utøverne allerede befinner seg på et brattere område av hemoglobinetts dissosiasjonskurve.

## 3. Metode

### 3.1 Deltakerne

Seks deltakere (en kvinne og fem menn) i alderen 18–28 år ble rekruttert til prosjektet. Opprinnelig var planen å inkludere 12 deltakere, men som et resultat av Covid-19-situasjonen og økt krav til smittevern ble antallet halvert for å muliggjøre gjennomføringen av prosjektet. Inklusjonskriterier var aktive eller tidligere aktive kondisjonsutøvere uten noen kontraindikasjoner mot hard fysisk testing.

*Tabell 1: Deltakernes karakteristikk.*

Variabel	Gjennomsnitt ± SD
Alder (år)	25,3 ± 2,8
Høyde (cm)	178,0 ± 5,0
Kroppsmasse (kg)	70,4 ± 4,9
VO <sub>2maks</sub> (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	67,1 ± 5,5
SBP (mmHg)	126,2 ± 5,8
DBP (mmHg)	67,5 ± 7,0

VO<sub>2maks</sub>; maksimalt oksygenopptak, SBP; systolisk blodtrykk, DBP; diastolisk blodtrykk. n = 6.

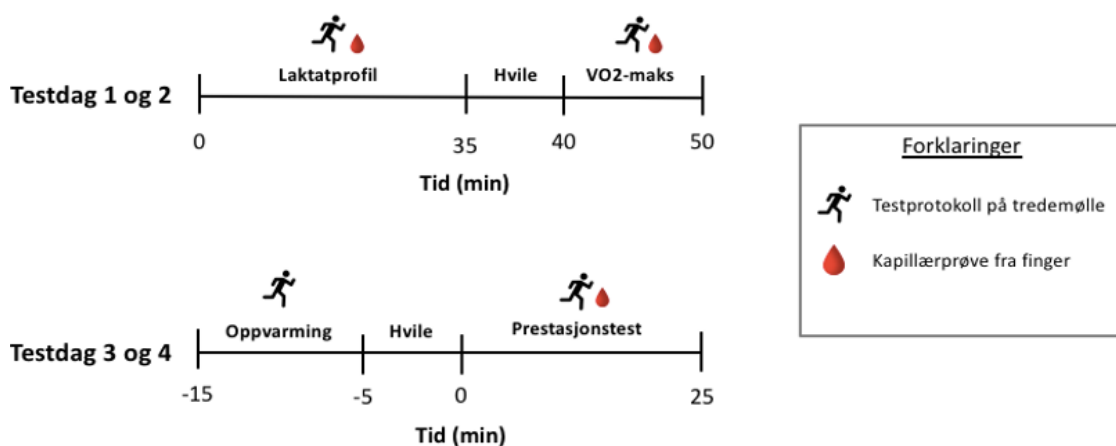
Rekrutteringen av deltakerne ble gjort ved hjelp av invitasjon til deltakelse via sosiale medier og plakater. Samtlige deltakere mottok et informasjonsskriv med detaljert beskrivelse av prosjektet (vedlegg III), og skrev under på en erklæring om informert samtykke i forkant av datainnsamlingen. Før prosjektets oppstart ble behandling av personopplysninger vurdert av Norsk senter for forskningsdata (NSD, referansenummer 295257) (vedlegg I) og prosjektet godkjent av Norges idrettshøgskoles lokale etiske komité (referansenummer 151-270820) (vedlegg II).

### 3.2 Studiedesign

Prosjektet ble designet som en randomisert kontrollert crossover-studie hvor testene (løp på tredemølle) ble gjennomført i simulert 2000 meters høyde over havet (moh.) og på tilnærmet havnivå (300 moh.) i randomisert rekkefølge. Tilnærmet havnivå ble satt til 300 moh. fordi NIH ligger på 170 moh. og det ble tatt høyde for lavtrykk. Ved å delta

i prosjektet måtte hver av deltakerne møte på laboratoriet på Norges idrettshøgskole ved 5 anledninger. Det første oppmøtet varte i 10–15 minutter og innebar en omvisning i lavtrykkstanken i tillegg til en gjennomgang av hvordan testingen ville foregå inne i tanken samtidig som de testet tredemøllen. De resterende 4 oppmøtene var på 60–90 minutter hver gang. Deltakerne møtte til omtrentlig samme tidspunkt ved hver testdag og de ble oppfordret til å ha noenlunde samme matinntak i forkant.

På Testdag 1 fikk deltakerne en muntlig gjennomgang av den viktigste informasjonen på informasjonsskrivet for å forsikre at informasjonen var forstått. Deltakerne fylte deretter ut et egenerklæringsskjema (vedlegg IV) og deres blodtrykk, høyde og kroppsvekt ble målt. Videre fikk deltakerne en repetisjon av hvordan testingen ville foregå inne i lavtrykkstanken før den dagsaktuelle testen ble gjennomgått (Testdag 1: laktatprofil-test og  $VO_{2maks}$ -test). Under laktatprofil-testen gjennomførte deltakerne en trappetrinns-protokoll på 4–7 submaksimale drag. Fem minutter etter avsluttet laktatprofil-test startet deltakerne  $VO_{2maks}$ -testen hvor de gjennomførte en trappetrinns-protokoll til utmattelse. På Testdag 2 gjennomførte deltakerne de samme testene som på Testdag 1, men med ulikt trykk i lavtrykkstanken. Rekkefølgen på hvilken høyde som ble simulert var balansert randomisert og forsøkt blindet for deltakerne ved at trykket ble økt og redusert flere ganger før riktig trykk ble etablert. Testdag 3 og 4 var eksperimentelle dager hvor deltakerne gjennomførte en prestasjonstest der de skulle tilbakelegge en fast distanse så raskt som mulig. Prestasjonstesten ble gjennomført på nøyaktig samme måte ved 300- og 2000 moh. og i likhet med Testdag 1 og 2 ble rekkefølgen balansert randomisert og forsøkt blindet.



**Figur 2:** Eksperimentelt design.

### **3.3 Målemetoder**

På Testdag 1 ble deltakernes blodtrykk målt på høyre overarm med et digitalt blodtrykksapparat (705CP-II, Omron, Bannockburn, USA). Målingene ble gjennomført tre ganger og gjennomsnittet av disse ble notert som endelig resultat. Inklusjonskravet var at blodtrykket skulle være over 100/60 mmHg og under 140/90 mmHg. Deltakernes høyde (Seca stadiometer, Seca, Hamburg, Tyskland) ble målt på Testdag 1, mens kroppsmassen (Seca 877, Seca, Hamburg, Tyskland) ble registrert på hver testdag. Deltakerne hadde hver testdag på seg en pulssensor (Polar OH1, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) på overarmen for å måle HF. Testingen begynte når deltakerne sto på tredemøllen (Bodyguard, Cardionics, AB, Sverige) inne i lavtrykkstanken.

#### **3.3.1 Lavtrykkstanken**

Lavtrykkstanken (Norsk undervannsteknikk A/S, Haugesund, Norge) på Norges idrettshøgskole ble brukt under alle testene. Tanken har et totalt volum på 45 m<sup>3</sup>. Under testing på 300 moh. ble lufttrykket i lavtrykkstanken først redusert til 900 millibar (mbar) og deretter økt til 977 mbar tilsvarende 300 moh. ved 17°C. Under testene på 2000 moh. ble lufttrykket redusert til 799 mbar. I tanken står tredemøllen i en vindtunnel hvor luftstrømmen var satt til 0,38 m·s<sup>-1</sup> under alle testene. Luftfuktigheten økte fra 45–50 % til ca. 75 % i løpet av testen.

For å holde en stabil O<sub>2</sub>-konsentrasjon inne i tanken ble det gjennom alle testene tilført O<sub>2</sub>. Mengden av dette ble regulert ut ifra deltakernes O<sub>2</sub>-forbruk pluss 0,3 L·min<sup>-1</sup> som er antatt forbruk av forsøksleder. Tilførselen av O<sub>2</sub> inn i tanken ble regulert av testlederen på utsiden.

For å redusere økningen av CO<sub>2</sub> konsentrasjon inne i tanken ble det brukt tre scrubbere (Norsk undervannsteknikk A/S, Haugesund, Norge) som inneholder sodalime-filtre for å fange opp CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub>-innholdet økte fra 0,04 % til ca. 0,15 % i løpet av testen både ved 300- og 2000 moh. Denne forhøyede konsentrasjonen overstiger anbefalt maksimum grense på 1000 ppm (tilsvarende 0,1 %) i oppholdsrom, men anses derimot ikke til å være farlig for deltakerne (Folkehelseinstituttet, 2015, s. 109-110).

### 3.3.2 Måling av oksygenopptak

Deltakernes  $\text{VO}_2$  ble målt over lungene med et automatisk ergospirometrisystem (Oxycon Pro; Jaeger Instr., Wuerzburg, Tyskland). Deltakerne pustet gjennom et munnstykke som var festet til en toveis, T-formet ventil (Hans Rudolph, Inc., Shawnee, USA) som sørget for at deltakerne inspirerte romluft og forhindret at ekspirert luft ble inspirert på nytt. For å sikre at all ventilert luft gikk gjennom munnstykket benyttet deltakerne neseklype. Ventilen var koblet til en plastslange som førte den ekspirerte luften videre til ergospirometrisystemets miksekammer hvor den ble blandet og analysert ved hjelp av en gassanalysator som måler konsentrasjonen av  $\text{O}_2$  og  $\text{CO}_2$ . For å måle volumet av luft som ble pustet ut gikk luften ut av miksekammeret via en turbin som kalkulerte ventilasjon ut fra luftgjennomstrømningen.

Ventilasjonsmålingene og gassanalysatoren ble kalibrert i forkant av hver test for hver testperson. Kalibreringen ble gjennomført etter at riktig trykk var etablert i lavtrykkstanken. Vindturbinen ble kalibrert manuelt med en 3000 ml håndpumpe (Calibration Syringe, modellserie 5530, Hans Rudolph Inc., Shawnee, USA). Gassanalysatoren ble kalibrert opp mot romluft og en kjent gass som inneholder 15 %  $\text{O}_2$  og 6 %  $\text{CO}_2$  (AGA, Norge, Oslo, Norge). Oxycon Pro er målt til å ha en variasjonskoeffisient på 1,2 % og kan dermed anses å ha en høy grad av reproduserbarhet ( $p < 0,05$ ) (Foss & Hallén, 2005, s. 571).

### 3.3.3 Måling av oksygenmetning

Målingen av  $\text{O}_2$ -metningen ble utført ved hjelp av et pulsoksymeter ( $\text{S}_p\text{O}_2$ ) (Masimo SET, Bitmos 901-M, Irvine, USA) som ble plassert på høyre langfinger. Dette ble brukt som et estimat på  $\text{S}_a\text{O}_2$ .

### 3.3.4 Måling av laktat

Laktatkonsentrasjonen i blodet ( $[\text{La}^-]_{\text{bl}}$ ) ble målt ved at deltakerne ble stukket på fingertuppen med en blodlansett (Accu-Chek Safe-T Pro, Roche Diagnostics, Basel, Sveits) med 2,3 mm dybde. Deretter ble et 20  $\mu\text{l}$  kapillærrør fylt med kapillærblod og lagt i et 1000  $\mu\text{l}$  eppendorfrør som inneholdt hemolyserende væske (EKF Safe Lock reaction tube, EKF Diagnostics, Cardiff, Wales) og mikset. Eppendorfrøret ble så plassert i en laktat- og glukoseanalysator (Biosen C-line GP+, EKF Diagnostics, Cardiff, Wales) som analyserte  $[\text{La}^-]_{\text{bl}}$ . Kalibreringen av Biosen C-line GP+ ble gjort

ved å plassere en standardløsning på 12 mM og to testløsninger på 3 mM og 15 mM (EKF Diagnostics, Cardiff, Wales) i Biosen. Hver testdag ble dette gjennomført to ganger ved oppstart og deretter automatisk hver time gjennom hele dagen.

### **3.4 Testbatteri**

Før testingen startet ble tredemøllen kalibrert for hastighet ved hjelp av en laser foto/kontakt takometer av typen Lutron DT-1236L (Lutron Electronic Enterprise CO, Taipei, Taiwan) og helning ved hjelp av en elektronisk vinkelmåler/vater av typen Hultafors DM 60 (Hultafors Group Norge AS, Oslo, Norge).

#### **3.4.1 Laktatprofil-test**

Laktatprofil-testen ble utført ved at deltakernes laktatverdier ble målt ved ulike submaksimale belastninger gjennom en trappetrinns-protokoll. Arbeidsperiodene på hver belastning var på 5 minutter med 1 minutt pause mellom hver. Hastigheten ble økt med  $1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  mellom hvert drag. Målingen av  $\text{VO}_2$  og VE ble startet 2 minutter inn i arbeidet og avsluttet ved minutt 4,5. HF ble notert hvert 30. sekund fra 2,5–4,5 minutt og gjennomsnittet ble regnet ut.  $[\text{La}^-]_{\text{bl}}$  ble målt i pausen ved at deltakerne stod på siden av tredemøllen og testleder tok en kapillærprøve fra fingertuppen. Overnevnte protokoll ble gjentatt frem til deltakernes  $[\text{La}^-]_{\text{bl}}$  oversteg gjennomsnittet av de to første dragene pluss 2,1 mM, hvilket er standard prosedyre ved laboratoriet.

Arbeidsøkonomien ved laktatprofil-testen ble regnet ut ved å dividere  $\text{VO}_2$  ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ ) på hastigheten ( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) på hver belastning.

#### **3.4.2 $\text{VO}_{2\text{-maks}}$ -test**

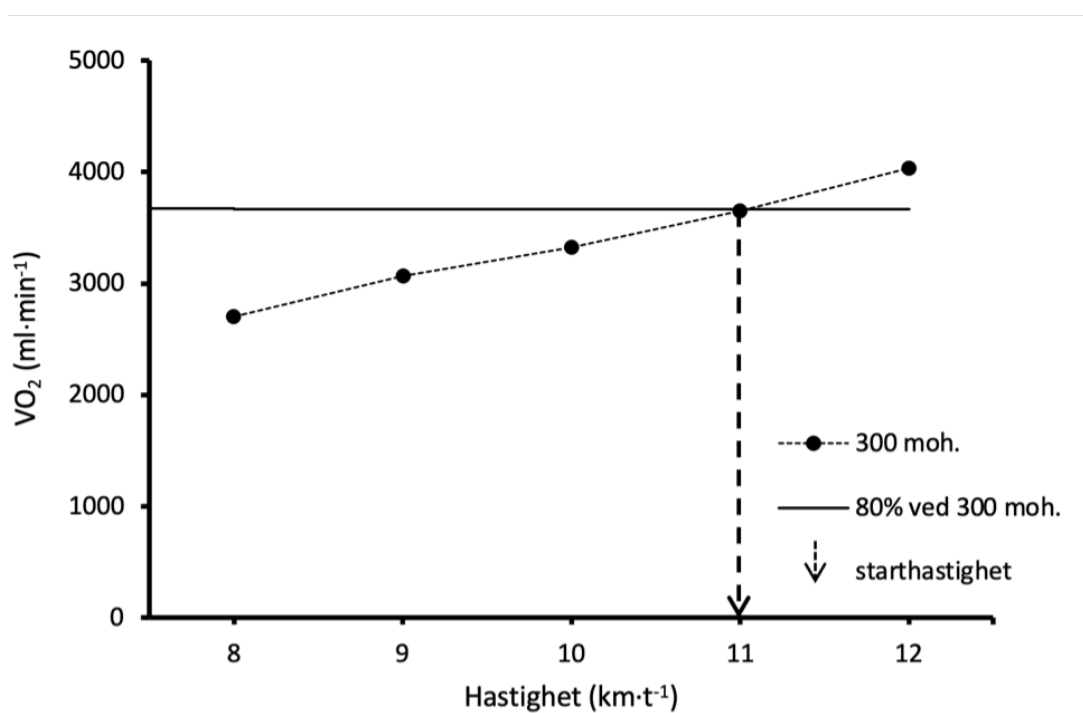
$\text{VO}_{2\text{maks}}$ -testen ble utført med en trappetrinns-protokoll til utmattelse. Ved 300 moh. var utgangshastigheten  $1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  lavere enn avslutningshastigheten på laktatprofiltesten, mens ved 2000 moh. startet deltakerne på samme hastighet som laktatprofiltesten ble avsluttet på. Hastigheten økte for hvert minutt med  $1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  frem til deltakerne ikke klarte mer og hoppet av tredemøllen. Varigheten på arbeidet var mellom 4–8 minutter.  $\text{VO}_2$  og VE ble målt kontinuerlig gjennom hele testen og HF ble registrert hvert 15. sekund fra start til slutt.  $[\text{La}^-]_{\text{bl}}$  ble målt 3 minutter etter utmattelse var nådd.  $\text{VO}_{2\text{-maks}}$  ble definert som det høyeste gjennomsnittlige  $\text{VO}_2$  som ble opprettholdt sammenhengende i 1 minutt.



### 3.4.3 Time-trial (prestasjonstest)

Hastigheten ble forsøkt beregnet slik at deltakerne skulle gjennomføre en fast distanse på 25 minutter ved 300 moh. Den samme distansen skulle løpes på 2000 moh.

Distansen og starthastigheten ble individuelt beregnet ut fra resultater fra laktatprofiltesten og  $VO_{2maks}$ -testen ved 300 moh. Sammenhengen mellom  $VO_2$  og hastigheten under laktatprofiltesten ble brukt til å beregne en hastighet tilsvarende 80 % og 85 % av  $VO_{2maks}$ -hastighet. Hastigheten tilsvarende 80 % av  $VO_{2maks}$ -hastighet ble satt til starthastighet, mens hastigheten tilsvarende 85 % ble brukt til å beregne en distanse deltakerne vil bruke ca. 25 minutter på.

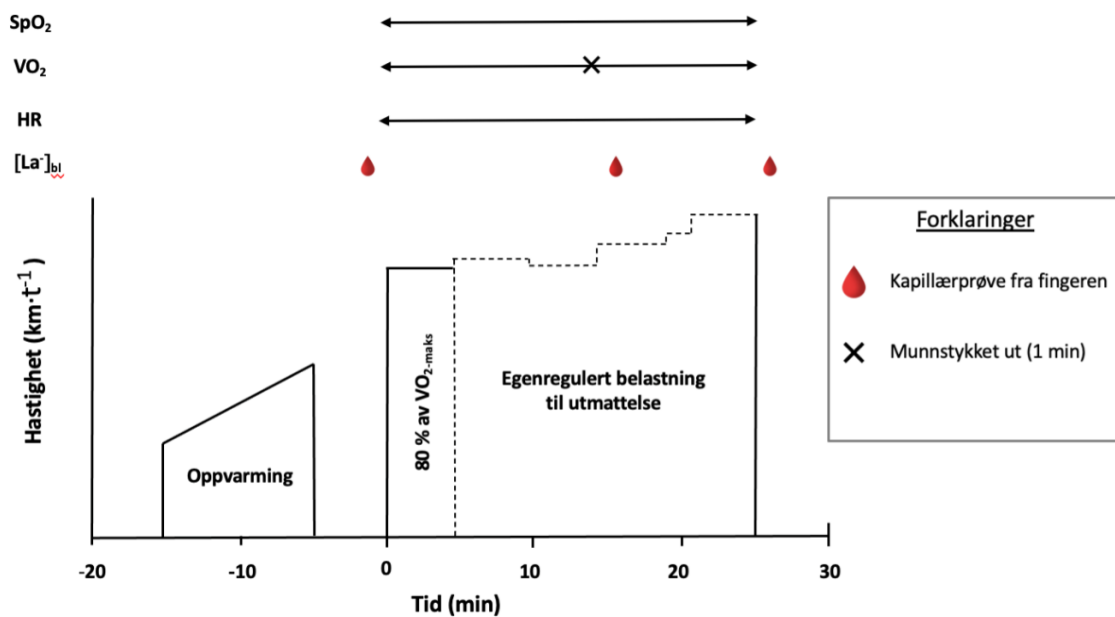


**Figur 3:** Grafen viser  $VO_2$  (ml·min<sup>-1</sup>) ved de ulike hastighetene (km·t<sup>-1</sup>) til en av deltakerne under laktatprofil-testen ved 300 moh. Samt 80 % av  $VO_{2maks}$  ved 300 moh.

Starthastigheten var i utgangspunktet lik på både 300- og 2000 moh. Tre av deltakerne klarte imidlertid ikke å gjennomføre testen på 2000 moh. og måtte komme tilbake en tredje gang på prestasjons-testen. Ved andre forsøk på 2000 moh. ble utgangshastigheten redusert med 1 km·t<sup>-1</sup> for å forsikre at deltakerne evnet å gjennomføre testen.

I forkant av testen gjennomførte deltakerne 10 minutters egenregulert oppvarming med forbehold at de ikke gjennomførte drag. Deretter var det 5 minutters pause hvor deltakerne ble koblet til pulsoksymeter, tredemøllen ble innstilt på riktig hastighet, den

første laktatverdien ble målt og de sto stille. I det siste av de 5 minuttene pustet deltakerne gjennom munnstykket. Etter dette startet testen med en 5 minutters periode hvor arbeidsbelastningen var konstant på 80 % av  $VO_{2\text{maks}}$ -hastighet for å unngå at starten ble for hard. Fra det 6. minuttet og frem til det var 300 meter igjen kunne deltakerne selv regulere arbeidsbelastningen med mål om å gjennomføre den bestemte distansen forttest mulig. Justeringer i hastighet som deltakerne gjorde ble notert sammen med tiden og distansen deltakerne hadde løpt når dette skjedde. Deltakerne fikk kun se tiden de første 5 minuttene av testen, etter dette var det kun distansen de hadde løpt de hadde oversikten over den resterende delen av testen. Gjennom arbeidet ble  $VO_2$  og VE målt kontinuerlig, med unntak av det 15. minuttet hvor munnstykket ble tatt ut og deltakerne fikk i seg litt drikke om ønskelig. Gjennomsnittet av  $VO_2$  i det 14. og 16. minuttet erstattet det 15. HF og  $S_pO_2$  ble notert hvert minutt gjennom hele testen, og  $[La^-]_{bl}$  ble målt både før testen startet, i det 18. minutt og ett minutt etter fullført test.



Figur 4: Testprotokollen gjennomført på Testdag 3 og 4

### 3.5 Statistiske analyser

Microsoft Office Excel (versjon 2020, Microsoft, Redmond, USA) ble brukt til å gjennomføre statistiske analyser av resultatene. Paret t-test ble brukt for å sammenligne forskjellene i  $VO_2$ , HF,  $S_pO_2$ , VE,  $[La^-]_{bl}$ ,  $VE/VO_2$ , RER, tid, arbeidsøkonomi og utnyttingsgrad mellom 300- og 2000 moh. Variablene ble undersøkt under laktatprofil-test,  $VO_{2\text{maks}}$ -test og prestasjons-test. Samvariasjon mellom variabler ble testet med en

enkel lineær regresjon og Pearsons korrelasjonskoeffisient ( $r$ ). Vurderingene av korrelasjonskoeffisientene var som følger: 0–0,1 = ingen korrelasjon, 0,1–0,4 = svak korrelasjon, 0,4–0,7 = moderat korrelasjon, 0,7–0,9 = sterk korrelasjon og 0,9–1 = veldig sterk korrelasjon i samsvar med Schober et al. (2018, s. 1765). Alle data i studien blir presentert som gjennomsnitt og standardavvik (SD) og signifikansnivået ble satt til  $p < 0,05$ .

### 3.6 Smittevern

Generelle smitteverntiltak ble gjennomført i tråd med de aktuelle smittevernreglene, men det ble også iverksatt to ekstra tiltak på bakgrunn av at tesingen i denne studien ble gjennomført inni en lukket tank. For det første hadde testleder på seg en gjennomstrømsmaske (Automask, Scott, Skelmersdale, England) koblet til en elektrisk respirator (Autoflow 120 A, Scott, Skelmersdale, England) med filterkapsel (PF10 PSL R, Scott, Skelmersdale, England) slik at luften ble renset. Dette var for å beskytte testleder ettersom deltakerne skulle ventilere mye over lengre tid. For det andre ble hele tanken desinfisert mellom hver test ved en desinfiseringsrobot (Decon-X, Decon-X, Lysaker, Norge) som genererer en tørr tåke av hydrogenperoksid ut i tanken. Denne prosessen tok ~90 minutter fra maskinen startet til vi kunne gå inn i tanken og gjøre klar til neste deltaker.

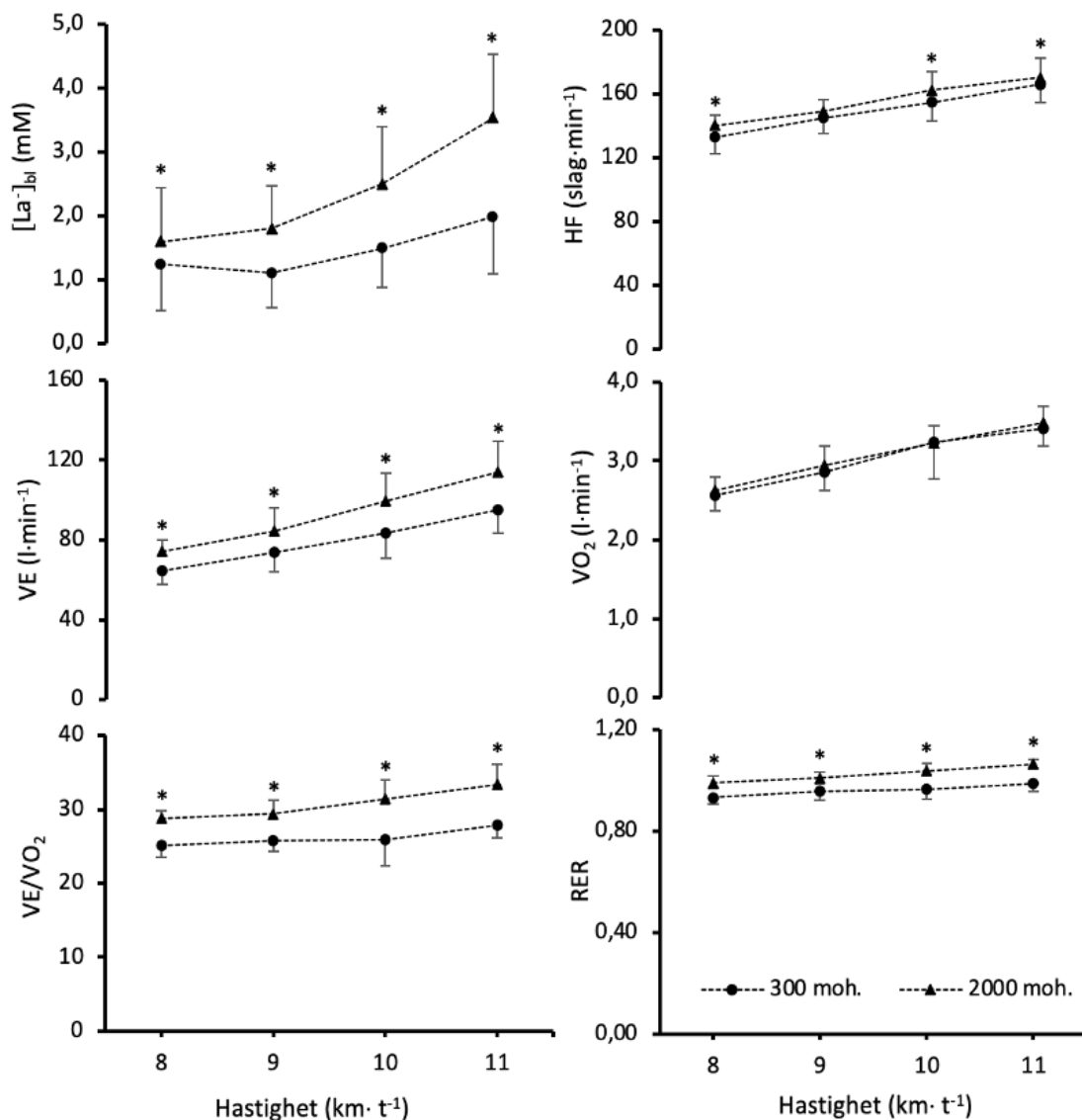


*Figur 5: En av deltakerne under testingen i lavtrykkstanken.*

## 4. Resultater

### 4.1 Submaksimale belastninger

For å teste ut effekt av høyde på de fysiologiske variablene benyttet vi de fire hastighetene alle deltakerne gjennomførte både ved 300- og 2000 moh. Intensiteten var mellom  $55,4 \pm 4,3$  % av  $VO_{2maks}$  ( $8 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  på 300 moh.) og  $80,7 \pm 5,8$  % av  $VO_{2maks}$  ( $11 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  på 2000 moh.) (Figur 6).

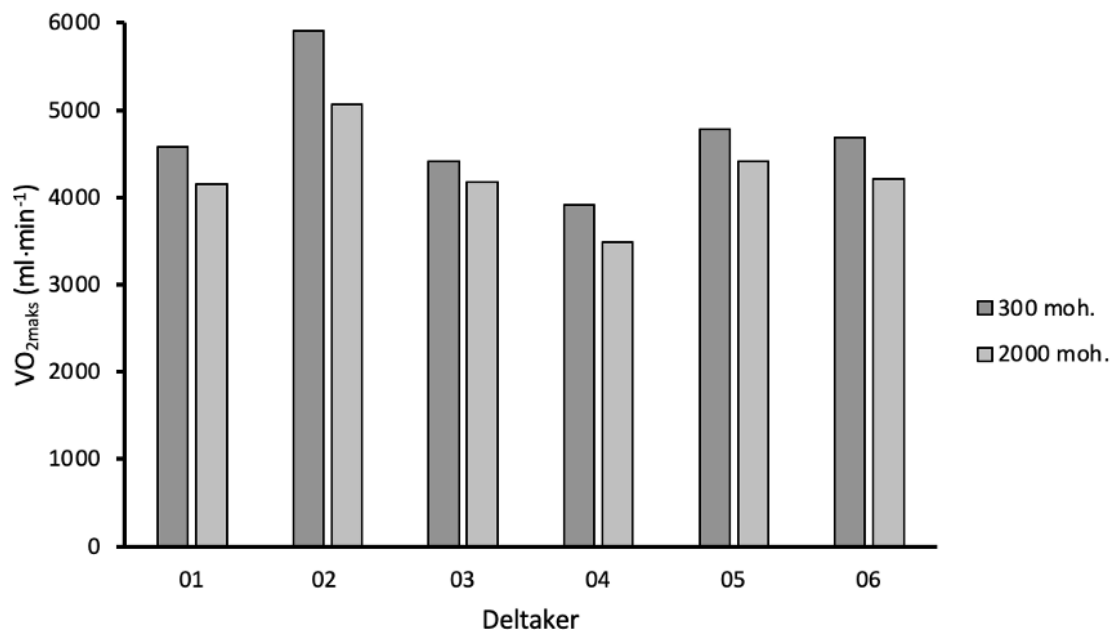


**Figur 6:**  $[La^-]_{bl}$ , HF, VE,  $VO_2$ , ventilatorisk ekvivalent ( $VE/VO_2$ ), RER,  $VO_2$  på 300- og 2000 moh. Data er presentert som gjennomsnitt  $\pm$  SD. \* =  $p < 0,05$ .  $n = 6$ .

[La<sup>-</sup>]<sub>bl</sub>, HF, VE, RER og VE/VO<sub>2</sub> var i gjennomsnitt høyere ved 2000 moh. sammenlignet med 300 moh. (alle p < 0,05). Med unntak av HF ved 9 km·t<sup>-1</sup> var også alle verdiene ved alle hastighetene høyere ved 2000 moh. (p < 0,05). Det var ingen forskjell i VO<sub>2</sub> mellom høydene ved de ulike hastighetene, hvilket betyr at det heller ikke er noen forskjell i arbeidsøkonomi.

## 4.2 Maksimalt oksygenopptak

VO<sub>2maks</sub> var ved 300 moh.  $4,72 \pm 0,66$  L·min<sup>-1</sup> og ved 2000 moh. på  $4,25 \pm 0,51$  L·min<sup>-1</sup>, hvilket tilsvarer en reduksjon på  $9,7 \pm 3,08$  % (p = 0,003). Individuelle resultater vises i Figur 7.



**Figur 7:** Deltakernes individuelle VO<sub>2maks</sub> ved 300- og 2000 moh. n = 6.

### 4.3 Prestasjonstesten

Alle deltakerne brukte lengre tid, hadde en høyere utnyttingsgrad, en dårligere arbeidsøkonomi, et høyere akkumulert VO<sub>2</sub> og en høyere akkumulert VE ved 2000 moh. sammenlignet med 300 moh. (p-verdier i Tabell 2). Det gjennomsnittlige VO<sub>2</sub> per minutt var lavere hos alle deltakerne ved 2000 moh. med unntak av en deltaker som hadde samme opptak ved begge høyder (Tabell 2).

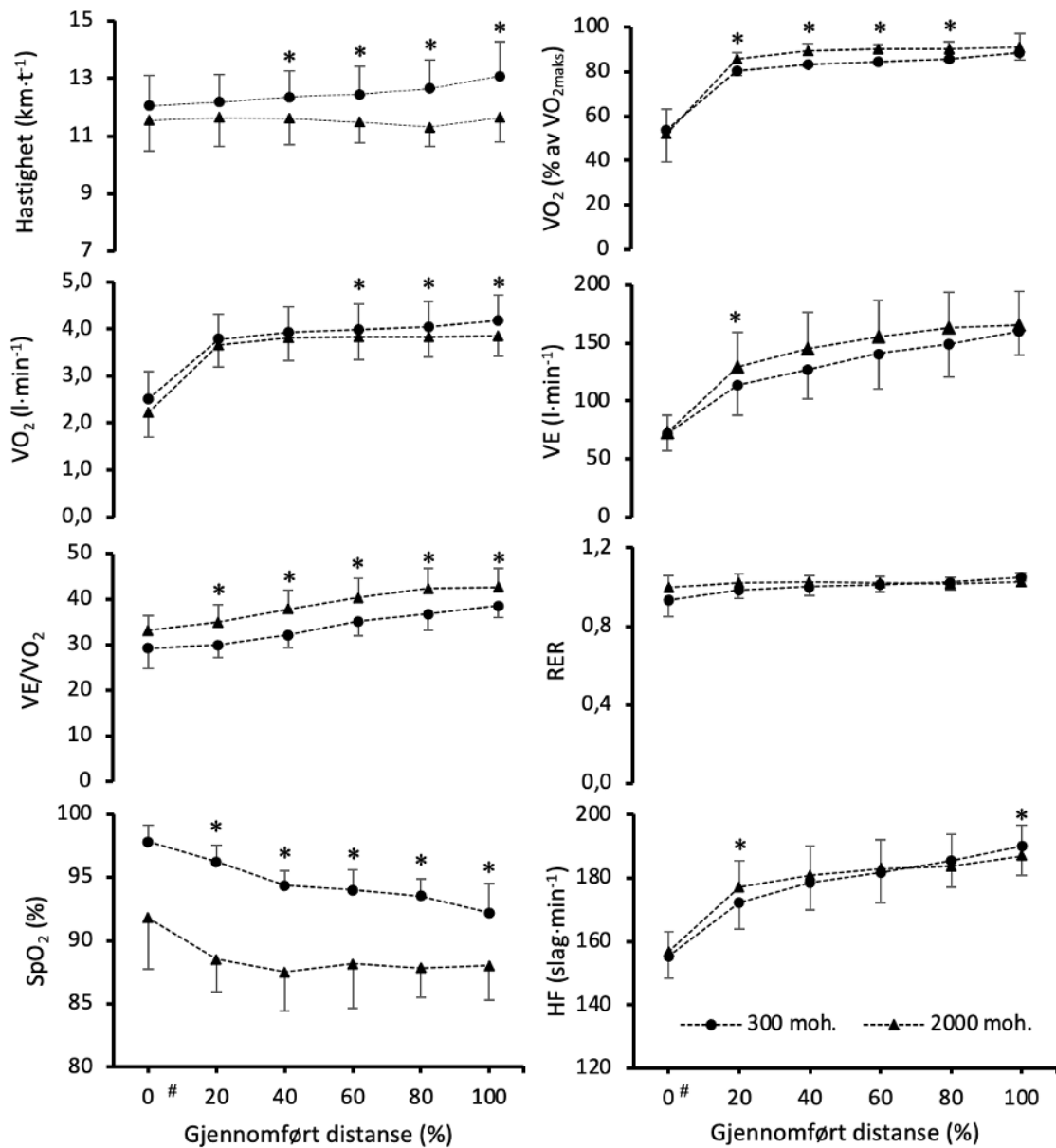
**Tabell 2:** Fysiologiske- og prestasjonsdata for prestasjonstestene på de to eksperimentelle dagene, samt den prosentvise forskjellen mellom dem.

Variabler	300 moh.	2000 moh.	% av 300	p-verdi
Tid (min)	25,4 ± 0,39	27,2 ± 0,89	107,1 ± 3,70	0,005
Akkumulert VO <sub>2</sub> (L)	98,6 ± 12,2	101 ± 12,4	102,4 ± 0,82	0,001
Gjennomsnittlig VO <sub>2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3,88 ± 0,51	3,71 ± 0,45	95,7 ± 3,67	0,048
Akkumulert VE (L)	3333 ± 615	3882 ± 803	116,5 ± 8,06	0,009
Arbeidsøkonomi (ml·m <sup>-1</sup> )	18,4 ± 1,27	18,9 ± 1,36	102,4 ± 0,82	0,001
Arbeidsøkonomi (ml·kg <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup> )	0,262 ± 0,007	0,269 ± 0,008	102,6 ± 0,78	0,003
Utnyttingsgrad (%)	82,5 ± 1,54	87,3 ± 2,23	105,9 ± 2,73	0,003

VO<sub>2</sub>; oksygenopptak, VE; ventilasjon. Data er presentert i gjennomsnitt ± SD. n = 6

Gjennomsnittshastigheten på prestasjonstesten var ved 300 moh. 12,5 ± 0,37 km·t<sup>-1</sup>, og ved 2000 moh. 11,5 ± 0,3 km·t<sup>-1</sup> (p = 0,002). Gjennom testen var det ved 40 % fullført løp og inn til mål at det ble en signifikant forskjell i hastighet (p < 0,03), hvor utøverne på 300 moh. fortsatte å øke, måtte de redusere ved 2000 moh. Avslutningshastigheten

var ved 300 moh.  $13,1 \pm 1,2 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ , mens ved 2000 moh.  $11,7 \pm 0,9 \text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$  ( $p < 0,001$ ) (Figur 8).



**Figur 8:** Utviklingen av hastighet,  $VO_2$  i % av  $VO_{2maks}$ ,  $VO_2$ ,  $VE$ ,  $VE/VO_2$ ,  $RER$ ,  $SpO_2$  og  $HF$  gjennom prestasjonstesten ved 300- og 2000 moh. (gjennomsnitt  $\pm$  SD). \* =  $p < 0,05$ . 0# = første minuttet av testen.  $n = 6$ .

Ved 2000 moh. var  $SpO_2$  lavere (alle tidspunkt  $p < 0,005$ ) og  $VE/VO_2$  høyere (alle tidspunkt  $p < 0,05$ ) ved alle mellommålinger gjennom testen, med unntak av det første minuttet av prestasjonstesten (Figur 8). Siste minuttet av testen var  $SpO_2$   $92 \pm 2 \%$  ved 300 moh., og  $88 \pm 3 \%$  ved 2000 moh. ( $p = 0,003$ ), og  $VE/VO_2$  var  $38,4 \pm 2,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ved 300 moh. og  $42,6 \pm 4,1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  ved 2000 moh. ( $p = 0,023$ ). Det var ingen

signifikant forskjell i  $VO_2$  de første 40 % av prestasjonstesten, men fra 60 % og til fullført test var  $VO_2$  høyere ved 300 moh. ( $p < 0,05$ ) (Figur 8).  $VO_2$  presentert som prosent av  $VO_{2maks}$  var signifikant høyere ved 2000 moh. fra 20–80 % ( $p < 0,01$ ) (Figur 8). HF var etter 20 % fullført test gjennomsnittlig 5 slag·min<sup>-1</sup> høyere ved 2000 moh. enn ved 300 moh. ( $p = 0,015$ ), mens den ved testslutt var gjennomsnittlig 3 slag·min<sup>-1</sup> lavere ( $p = 0,017$ ). Ved 20 % gjennomført test var også VE høyere ved 2000 moh. med  $129,3 \pm 29,6$  L·min<sup>-1</sup> mot  $113,9 \pm 26,2$  L·min<sup>-1</sup> ved 300 moh. ( $p = 0,035$ ) (Figur 8).  $[La^-]_{bl}$  var ved første måling (pre-test)  $0,5$  mM·L<sup>-1</sup> høyere ved 2000 moh. enn ved 300 moh. ( $p = 0,028$ ) og 18 minutter inn i testen  $2,2$  mM·L<sup>-1</sup> høyere ved 2000 moh. ( $p = 0,011$ ). Ved siste måling (post-test) var forskjellen  $1,8$  mM·L<sup>-1</sup> og fremdeles høyere i høyden, men uten signifikant forskjell ettersom en av deltakerne hadde en lavere post-verdi ved 2000 moh.



## 5. Diskusjon

I tidligere studier er det sett at reduksjonen i prestasjon ved 2000–2500 meters høyde er mellom 3,4 % og 7,2 %, avhengig av varighet og distanse på testen (Liao et al., 2019, s. 1809; MacLeod et al., 2015, s. 363), mens  $VO_{2maks}$  reduseres med 6,3 % per 1000 meters høyde (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 407). Videre har andre studier vist at både arbeidsøkonomien og den anaerobe kapasiteten er uendret (Friedmann et al., 2007, s. 69; Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408), og på bakgrunn av dette var vår hypotese at utnyttingsgraden øker i høyde.

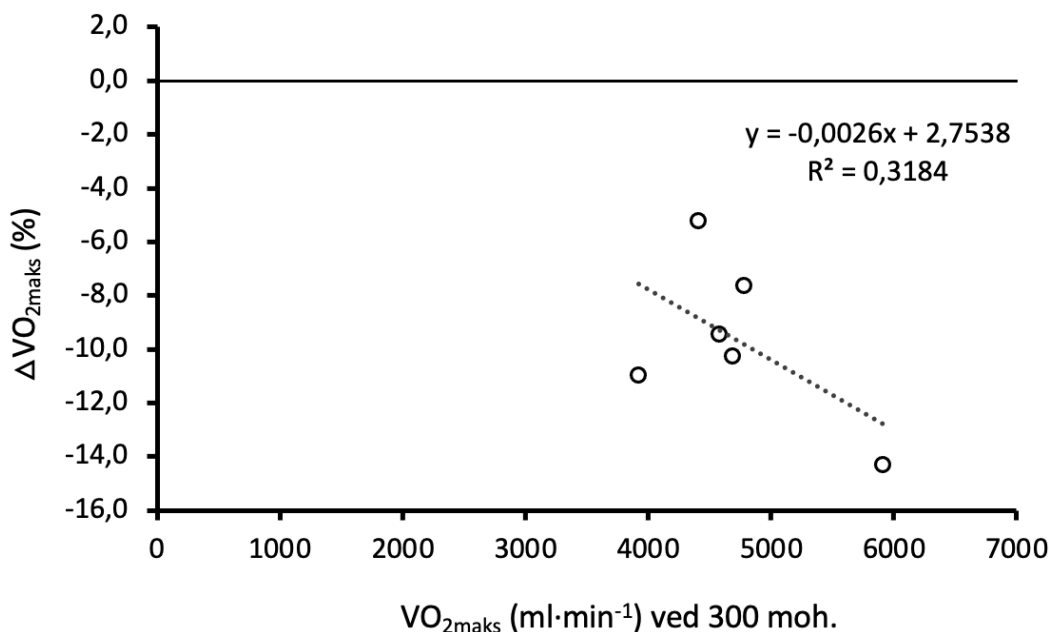
Resultatene i vår studie viste at forskjellen mellom reduksjonen i  $VO_{2maks}$  og prestasjon var mindre enn forventet med henholdsvis 9,7 % og 7,1 %. Samtidig fant vi at arbeidsøkonomien ble redusert i høyden (2,4 %), ved at  $O_2$ -kostnaden for å gjennomføre arbeidet var høyere ved 2000 moh. enn 300 moh. Utnyttingsgraden var som forventet høyere i høyden, med 5,9 %-poeng.

### 5.1 Effekten av høyde på maksimalt oksygenopptak

$VO_{2maks}$  ble under denne studien redusert med 9,7 % fra 300 moh. til 2000 moh. hvilket er noe lavere enn reduksjonen Wehrlin og Hallén (2006, s. 407) fant hos godt trente utøvere på 6,3 % per 1000 moh. Videre fant de også at denne reduksjonen er lineær uavhengig av om  $VO_{2maks}$  måles fra 300–1300 moh. eller fra 1800–2800 moh., og at reduksjonen i  $VO_{2maks}$  forekommer allerede mellom 300–800 moh. Reduksjonen funnet av Wehrlin og Hallén (2006, s. 407) er noe lavere enn den 7,7 % reduksjonen per 1000 moh. som også er funnet (Lawler et al., 1988; Peltonen et al., 1995; Peltonen et al., 2001). Uheldigvis er det vanskelig å vite hvor stor del av resultatene som er metodiske- og biologiske variasjoner i disse sistnevnte studiene ettersom ingen av dem viste test-retest reproduserbarhet. Likevel er det mulig å anta at de overnevnte reduksjonene stemmer, når det tas høyde for at reduksjonen i  $VO_{2maks}$  varierer avhengig av hvor godt trente utøverne er. Både Lawler et al. (1988, s. 1488) og Mollard et al. (2007b, s. 666) har funnet en større reduksjon i  $VO_{2maks}$  i høyden hos deltakere som har en høy lavlands  $VO_{2maks}$  og dermed vil resultatene i enhver studie som undersøker  $VO_{2maks}$  i høyden påvirkes av hvor gode utøvere som inkluderes. Mollard et al. (2007b, s. 666) fant at allerede ved 1000 moh. var det en signifikant reduksjon i  $VO_{2maks}$  med 4,3 % hos godt trente utøvere ( $> 60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) og 3,2 % hos utrente ( $< 50 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Ved 2500

moh. var denne reduksjonen henholdsvis 11,9 % og 9,1 %. Fulco et al. (1998, s. 795) har sett at det ikke er forskjell i den prosentvise reduksjonen i  $VO_{2maks}$  ved økende høyde mellom menn og kvinner, og Mollard et al. (2007a, s. 182) har vist at variasjonen mellom godt trente og utrente også gjelder for kvinner.

Variasjonene i  $VO_{2maks}$  hos deltakere i denne studien var fra 61,9–76,5  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  og reduksjonen fra 300–2000 moh. varierte mellom 5,2 % og 14,3 %. Det var den deltakeren med høyest  $VO_{2maks}$  som hadde størst reduksjon, men utover dette ble det kun vist en moderat negativ korrelasjon mellom  $VO_{2maks}$  ved 300 moh. og endringen fra 300–2000 moh. ( $r = -0,56$ ) (Figur 9). Vi så derimot at de tre deltakerne som hadde størst reduksjon i  $VO_{2maks}$  ( $> 10\%$ ) også hadde en  $S_pO_2 \leq 92\%$  de siste minuttene av prestasjonstesten ved 300 moh. Dette kan indikere at deltakerne allerede ved havnivå arbeider på det bratte området av hemoglobinetts dissosiasjonskurve og dermed er mer utsatt for endringer i  $PO_2$  i høyden.



**Figur 9:** Sammenhengen mellom  $VO_{2maks}$  ved 300 moh. og den prosentvise endringen ( $\Delta$ ) i  $VO_{2maks}$  fra 300- til 2000 moh. Data er presentert som lineær regresjon (stripet linje).  $n = 6$ .

I studien til Wehrlin og Hallén (2006, s. 410) fant de at  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$  ble redusert med 5,3 % per 1000 moh. hvilket er relativt likt den tidligere nevnte reduksjonen i  $VO_{2maks}$  per 1000 moh. på 6,3 %. De knyttet denne liknende reduksjonen til en

konklusjon av Powers et al. (1989, s. 2494) som fant at 1 % reduksjon i  $S_aO_2$  gir 1 % reduksjon i  $VO_{2maks}$  når  $S_aO_2$  er under 92–93 %. For deltakerne i denne studien var reduksjonen i  $S_pO_2$  fra lavland til høyde på 4,5 %, hvilket er en del mindre enn reduksjonen som ble observert i  $VO_{2maks}$ . Forklaringen på dette kan tenkes å være at  $S_pO_2$ -målingene i denne studien kun er fra prestasjonstesten og dermed ikke er direkte overførbare til  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$ . Videre ser det ikke ut til at deltakerne med størst reduksjon i  $VO_{2maks}$  og lavest  $S_pO_2$  under prestasjonstesten ved 300 moh. hadde en større reduksjon i  $S_pO_2$  fra 300- til 2000 moh. Dette samstemmer med resultatene til Wehrlin og Hallén (2006, s. 410) hvor det ikke ble funnet en korrelasjon mellom den individuelle reduksjonen i  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$  og den individuelle reduksjonen i  $VO_{2maks}$ . Wehrlin og Hallén (2006, s. 410) sine funn viser at ~70 % av reduksjonen i  $VO_{2maks}$  kan forklares av  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$ , hvilket samstemmer med de 72 % Lawler et al. (1988, s. 1489) fant hos godt trente. Etersom det i denne studien ikke ble målt  $S_pO_2$  under  $VO_{2maks}$ -testen er det ikke mulig å konstatere om deltakerne som hadde størst reduksjon i  $VO_{2maks}$  også hadde de laveste  $S_pO_2$  verdiene ved  $VO_{2maks}$ , og videre om den prosentvise reduksjonen i  $S_pO_2$  hadde vært høyere dersom  $S_pO_2$  ble målt ved  $VO_{2maks}$ . Likevel skulle deltakerne under prestasjonstesten presse seg til sitt ytterste og det er dermed mulig å tenke seg at det kan være en sammenheng mellom  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$  og de lave  $S_pO_2$  verdiene hos 3 av deltakerne de siste minuttene av testen ettersom det var disse deltakerne som også hadde den største reduksjonen i  $VO_{2maks}$ .

## **5.2 Effekten av høyde på arbeidsøkonomi**

Studier som har undersøkt hva som skjer med arbeidsøkonomien i høyde har sett at den er uendret (Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408) helt opp til høyder på 4300 moh. (Lundby et al., 2007, s. 289). For å undersøke arbeidsøkonomien ved akutt høyde er en vanlig metode at deltakerne arbeider på en konstant submaksimal belastning over en bestemt tid (MacLeod et al., 2015, s. 361; Moon et al., 2016, s. 3; Nybäck et al., 2017, s. 4; Wehrlin & Hallén, 2006, s. 408) eller ved intermitterende økende intensitet slik som under laktatprofilen i denne studien. I tillegg måles også  $VO_2$  gjerne over kortere perioder, slik som også ble gjort ved laktatprofilen i denne studien. Arbeidsøkonomien under de submaksimale belastningene (laktatprofilen) var i denne studien samsvarende med tidligere funn ved at  $VO_2$  var uendret ved både 2000- og 300 moh. ved alle hastighetene. Under prestasjonstesten var derimot det totale  $O_2$ -forbruket 2,4 % høyere

ved 2000 moh. enn ved 300 moh. og siden distansen de løp var den samme, betyr det en dårligere arbeidsøkonomi.

Hva som skyldes dette funnet som strider mot tidligere studier er noe usikkert, men en faktor som kan tenkes at påvirker er  $VO_2$  slow components.  $VO_2$  slow components er en langsom økning i  $VO_2$  under en konstant arbeidsbelastning over laktatterskelen (Jones et al., 2011, s. 2046), hvilket medfører at arbeidsøkonomien gradvis blir dårligere. Denne utviklingen av  $VO_2$  slow components reduserer muskulaturens kontraktile effektivitet ved at homeostasen gradvis reduseres og muskulaturen utvikler utmattelse (Jones et al., 2011, s. 2047). I en studie av Ribeiro et al. (1986, s. 216) syklet åtte deltakere med en konstant  $VO_2$  på ~55 %, ~65 % og ~75 % av  $VO_{2maks}$  gjennom 40 minutter. For å holde  $VO_2$  konstant måtte de redusere effekten utover i testen med 5 % ved ~55 % av  $VO_{2maks}$  og med 15 % ved ~75 % av  $VO_{2maks}$ . Denne prosedyren gir et speilbilde av hvordan  $VO_2$  slow components utvikler seg gjennom arbeidet ved at de reduserer effekten i stede for å la  $VO_2$  øke (Jones et al., 2011, s. 2052). I denne studien ser vi at  $VO_2$  ved 2000 moh. er relativt konstant etter at den har fått stabilisert seg, til tross for en liten reduksjon i hastighet utover i løpet. Videre ses det også en indikasjon på at muskulaturen arbeider mindre effektivt under selve prestasjonstesten ved 2000 moh. ved at  $[La^-]_{bl}$  er signifikant høyere. Det kan dermed tenkes at  $VO_2$  slow components er noe større i høyden enn ved havnivå og at dette kommer frem under prestasjonstesten hvor det jobbes på en høy intensitet over lengre tid, men ikke har blitt oppdaget tidligere ettersom arbeidsøkonomien har blitt målt ved submaksimale belastninger med for kort arbeidstid til at utviklingen  $VO_2$  slow components forekommer.

En annen faktor som muligens kan ha påvirket arbeidsøkonomien er den økte ventilasjonen som ble sett i høyden. Gjennom prestasjonstesten ble det ikke funnet en signifikant forskjell mellom høydene, men totalt var den akkumulerte VE 16,5% høyere. Videre var også  $VE/VO_2$  signifikant høyere i høyden gjennom hele prestasjonstesten hvilket innebærer at det ventileres mer for hver liter  $O_2$  som tas opp (McArdle et al., 2010, s. 291). Når VE øker, øker energibehovet til respirasjonsmuskulaturen, som videre fører til at en større del av  $O_2$ -mengden som tas opp i kroppen utnyttes der (McArdle et al., 2010, s. 297). I en studie av Thomas et al. (1999, s. 165) fant de at blant  $[La^-]_{bl}$ , VE, HF og kjernetemperatur, var VE den eneste

faktoren som medførte en signifikant reduksjon i arbeidsøkonomien. Videre har en studie av Candau et al. (1998, s. 484) vist at ~25 % av energikostnaden ved utmattelse i en løpstest skyltes respirasjonsmuskulaturens  $VO_2$ . Hvor mye en økt VE koster er ikke sikkert i dette tilfellet ettersom det sannsynligvis er noe lettere å ventilere i høyden som et resultat av den tynnere luften, men at det kan ha krevd noe mer energi er ikke utenkelig. Både VE og  $VE/VO_2$  er signifikant høyere ved de submaksimale belastningene ved 2000 moh. og dermed er det mulig å anta at man burde sett en økning i  $VO_2$  per meter ved de submaksimale belastningene dersom  $O_2$ -kostnaden var stor.

Til slutt er det vanskelig å si noe om hvor stor betydning hver av de overnevnte faktorene har, men det er ikke utenkelig at hver enkelt faktor i varierende grad kan ha vært medvirkende til den resultatmessige svekkelsen i arbeidsøkonomi i høyden.

### **5.3 Effekten av høyde på utnyttingsgrad**

Resultatene i denne studien viser at utnyttingsgraden økte med 5,9 %-poeng under en prestasjonstest med varighet på 25–30 minutter. Fra tidligere er det kun Périard og Racinais (2016) som har undersøkt utnyttingsgraden i høyde, men da bare gjennom indirekte målinger. Studien ble gjennomført på 3000 moh. ved at deltakerne skulle gjennomføre en bestemt mengde arbeid (750 kilojoule) så fort som mulig (~60 minutter i høyde).  $VO_2$  ble målt i ett minutt med oppstart ved 10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90% og 100 % av gjennomført test og sett opp mot deltakernes individuelle  $VO_{2maks}$ .

Resultatene viste at deltakerne lå på en høyere prosent av  $VO_{2maks}$  i høyden sammenlignet med lavlandet ved alle mellommålingene, men derimot viste ingen av målingene en signifikant forskjell (Périard & Racinais, 2016, s. 848).

I denne studien ble det sett en svak korrelasjon mellom  $VO_{2maks}$  ved 300 moh. og økningen i utnyttingsgraden i høyde ( $r = 0,19$ ), samt mellom reduksjonen i  $VO_{2maks}$  fra 300-2000 moh. og økningen i utnyttingsgrad ( $r = -0,20$ ). Særlig mellom reduksjonen i  $VO_{2maks}$  og økningen i utnyttingsgrad var denne svake korrelasjonen noe overraskende, ettersom vi i forkant av studien baserte vår antakelse om at utnyttingsgraden skulle øke på bakgrunn av at reduksjonen i  $VO_{2maks}$  var større enn reduksjonen i prestasjon. En mulig forklaring på dette kan ligge i at reduksjonen i prestasjon var større enn vi forventet, hvilket dermed gjør forskjellen mellom reduksjonen i  $VO_{2maks}$  og prestasjon

mindre enn antatt. Ettersom vi i denne studien kun hadde et utvalg på seks deltakere kan det tenkes at med et større utvalg kunne man funnet en sterkere korrelasjon.

Videre er resultatene av utnyttingsgraden sannsynligvis også påvirket av distansen på testen, ettersom utnyttingsgradens betydning for prestasjon øker med økende varighet på arbeidet (Davies & Thompson, 1979, s. 241). Dermed ville vi kanskje sett en større forskjell i utnyttingsgraden under en lengre distanse enn den som ble undersøkt i denne studien. En faktor som kan tenkes at bidrar til å forklare noe av økningen i utnyttingsgraden er den dårligere arbeidsøkonomien. Dette er fordi den økte  $O_2$ -kostnaden per meter i høyden medfører at utøverne ligger litt tettere opp mot sin  $VO_{2maks}$  i høyden gjennom testen og dermed er utnyttingsgraden høyere.

#### **5.4 Effekten av høyde på prestasjon**

Prestasjonen ble i denne studien redusert med 7,1 % ved 2000 moh. sammenlignet med 300 moh. Denne reduksjonen er større enn den Liao et al. (2019, s. 1809) fant på 3,4 % under en 40 km tidstest på sykkel ved 2000 moh. hvor varigheten var ~50 minutter. En forklaring på denne forskjellen kan ligge i at prestasjonen i større grad bestemmes av utnyttingsgraden fremfor  $VO_{2maks}$  ved økende varighet (Davies & Thompson, 1979, s. 241). Dette gir altså grunnlag for at prestasjonen ved kortere varighet er mer sårbar for reduksjonen i  $VO_{2maks}$  fordi denne spiller en større rolle enn ved lengre varigheter.

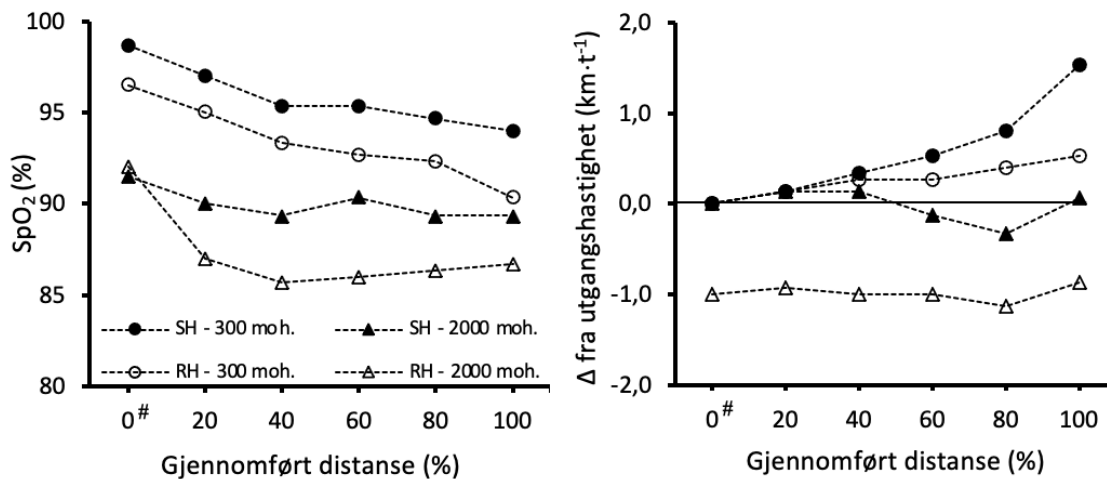
Reduksjonen i prestasjon som observeres i denne studien er også noe høyere enn hva som er sett under ekte konkurranser med varighet på 20–30 minutter. For eksempel så Fulco et al. (1998, s. 797) ved å undersøke prestasjonen fra en rekke friidrettskonkurranser at prestasjonen ble redusert med 5 % ved 2000 moh. og 7 % ved 2300 moh. Dette samstemmer også med en 1–3 % reduksjon per 1000 moh. på mellomdistanser som andre studier har funnet når de har undersøkt prestasjonen fra en rekke ekte konkurranser, som Olympiske leker og friidrettsstevner gjennom flere år (Hamlin et al., 2015, s. 884; Hollings et al., 2012, s. 203; Jokl et al., 1969, s. 309). Disse studiene baserer seg på utøvere som har oppholdt seg flere dager på konkurransehøyde for å akklimatiseres før de skal prestere, hvilket er viktig ettersom akklimatisering er sett å ha en positiv påvirkning på prestasjon i høyde. For eksempel så de i en studie av Chapman et al. (2016, s. 1154) at prestasjonen på en 3000 m gradvis ble gjenopprettet frem til dag 19 av akklimatisering, men uten å nå samme prestasjonsnivå som ved

havnivå. En forklaring på gjenopprettingen av prestasjon er at  $VO_{2maks}$  også gjenopprettes gradvis (Schuler et al., 2007, s. 590), hvilket delvis kan forklares av gjenopprettingen og stabiliseringen av  $S_pO_2$  som ses fra akutt eksponering til akklimatisering (Fulco et al., 1998, s. 798). Dette kan bidra til å forklare hvorfor utøverne i min studie hadde en større reduksjon i prestasjon da disse ikke var akklimatiserte.

Sannsynligvis kan både den akutte eksponeringen og den relativt korte varigheten forklare deler av reduksjonen i prestasjon, men den er likevel høyere enn antatt sammenlignet med andre studier, selv om man tar høyde for disse faktorene. Dette understrekes ytterligere av en studie av MacLeod et al. (2015, s. 363) som fant en økning i tid på 7,2% under en 10km tids-test på sykkel hvor varigheten var ~17 min og høyden ~2500 moh. 2500 moh. er 500 moh. høyere enn under denne studien, hvilket på bakgrunn av tidligere nevnt forskning burde indikere en større reduksjon i prestasjon. Videre er også varigheten i MacLeod et al. (2015) noe kortere og dermed er det rimelig å anta at betydningen av  $VO_{2maks}$  er forholdsvis større enn utnyttingsgraden sammenlignet med min studie.

En faktor som kan ha medvirket til denne noe overdrevne reduksjonen i prestasjon er situasjonen hvor tre av deltakerne ved første forsøk på prestasjonstesten ved 2000 moh. måtte bryte. Ved andre forsøk ble utgangshastigheten redusert med  $1 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  for å forsikre at deltakerne klarte å gjennomføre testen, noe som muligens kan ha påvirket prestasjonen. Ved å studere deltakerne som løp på samme hastighet (SH) og de som måtte redusere (RH) som to ulike grupper er reduksjonen i prestasjon hos RH-gruppen 10,2 % mot 4,0 % i SH-gruppen. Det er ikke utført noen statistiske analyser mellom gruppene, men dette er en relativt stor forskjell mellom to grupper som begge er godt trent. Likevel er det vanskelig å si hvor avgjørende denne reduksjonen i hastighet var for prestasjonen ettersom det så ut som at deltakerne i RH-gruppen allerede ved 300 moh. hadde mindre å gå på enn SH-gruppen. Ved 300 moh. hadde RH-gruppen en fartsøkning på  $0,5 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  fra utgangshastighet til sluthastighet, sammenlignet med SH-gruppens økning på  $1,5 \text{ km} \cdot \text{t}^{-1}$  (Figur 10). Videre hadde RH-gruppen ved 2000 moh. ikke evnen til å øke hastigheten noe særlig mer enn SH-gruppen tiltross for en lavere utgangshastighet (Figur 10). Deltakerne i RH-gruppen var de som hadde den største reduksjonen i  $VO_{2maks}$  med alle > 10 % reduksjon (gjennomsnitt 11,9 %) mot alle < 10

% (gjennomsnitt 7,5 %) i SH-gruppen. Dette kan bidra til å forklare hvorfor deltakerne i RH-gruppen endte opp med å bryte ved første forsøk på 2000 moh. da starthastigheten var på en høyere prosent av den allerede kraftig reduserte  $VO_{2maks}$ , sammenlignet med deltakerne i SH-gruppen. Videre ser vi også i Figur 10 at deltakerne i RH-gruppen hadde en lavere  $S_pO_2$  gjennom hele testen allerede ved 300 moh. i tillegg til at de også hadde et akutt større fall når testen startet ved 2000 moh.



**Figur 10:** Forskjell i  $S_pO_2$  og endringen ( $\Delta$ ) i hastighet mellom deltakerne som løp samme hastighet (SH) under både 300 moh. og 2000 moh. og deltakerne som reduserte med  $1 km \cdot t^{-1}$  (RH) ved 2000 moh. 0# = første minutt av testen.  $n = 6$ .

På bakgrunn av dette kan det diskuteres om det muligens kunne vært en liten forbedring i prestasjonen dersom det hadde blitt gjennomført flere tester med ulik starthastighet for å finne den optimale hastigheten til selve prestasjonstesten. Dette er likevel vanskelig å si sikkert om hadde hatt en stor påvirkning ettersom situasjonen er lik for alle.

Videre er en annen faktor som kan ha bidratt til at reduksjonen i prestasjon var større enn forventet, reduksjonen i arbeidsøkonomi. Arbeidsøkonomien var en faktor vi i forkant av studien ikke tok høyde for at skulle reduseres i høyden ettersom denne fra tidligere har vist seg å være uendret, men når denne da blir dårligere bruker deltakerne mer energi for å opprettholde en bestemt hastighet. Ettersom deltakerne i liten grad klarer å øke  $VO_2$  underveis i testen innebærer dette at hastigheten heller ikke økes slik som under 300 moh. (Figur 10) og dermed øker tiden.



## 5.5 Studiens begrensninger

En klar begrensning med studien er det relativt lave antallet deltakere. I utgangspunktet var planen å inkludere 12 deltakere, men på grunn av restriksjoner og økt smittevern som følge av Covid-19 ble antallet kun seks. Likevel var resultatene signifikante i den forstand at alle deltakerne hadde en tydelig økning av utnyttingsgraden i høyden. Videre er de inkluderte deltakerne unge, aktive og godt trente personer som dermed ikke er representative for hele populasjonen. Ettersom påvirkningen av høyde på  $VO_{2maks}$  i stor grad bestemmes av hvor godt trente deltakerne er, vil den fysiske formen til deltakerne som inkluderes sannsynligvis også være av betydning for hvor stor påvirkning høyde vil ha på utnyttingsgraden. En annen begrensning ved studien er at den kun inkluderer én kvinne, noe som gir dårlige forutsetninger for å kunne anta noe om en eventuell forskjell mellom kvinner og menn i så henseende. Kvinnen hadde imidlertid relativt gjennomsnittlig økning i utnyttingsgrad i høyden.

Videre kan begrensninger i studien knyttes til at tre av deltakerne måtte inn til et andre forsøk på prestasjonstesten ved 2000 moh. Hvor stor betydning det hadde på resultatene er vanskelig å si noe om, men ettersom dette både reduserte intensiteten på testen og gjorde at deltakerne visste at de løp på 2000 moh. er det mulig det har hatt en innvirkning. Å måle prestasjon er vanskelig ettersom det er mange faktorer som spiller inn i tillegg til at det ikke er noe målbart som forteller oss at deltakerne har prestert sitt beste. Når man skal finne  $VO_{2maks}$  og hvor mye denne reduseres i høyde er dette enklere å fastslå ettersom  $VO_2$  når et «platå» som forteller oss at deltakerne har nådd sin  $VO_{2maks}$ . Ved prestasjonstester hvor deltakerne selv får regulere hastigheten vil både dagsformen, tidligere erfaring, fysisk form, kunnskap om oppgaven og motivasjon være faktorer som kan påvirke prestasjonen (Périard & Racinais, 2016, s. 851). Av denne grunn hadde det vært en fordel om deltakerne hadde hatt flere muligheter til å løpe distansen før selve testingen begynte, slik at de visste hvordan testen kjentes ut og dermed kunne disponert kreftene bedre. Deltakerne visste både distansen og starthastigheten, men det ser likevel ut til at det var vanskelig å legge en god pacing-strategi ettersom de ved alle testene løp med helning og ved en anledning også i høyden. Det ble observert at deltakerne som hadde første prestasjonstest ved 2000 moh. behersket pacing bedre ved begge prestasjonstestene sammenlignet med de som startet ved 300 moh. Av deltakerne som startet på 300 moh. oppgav to av dem at de trodde de var på 2000 moh. og dermed kan et håp om å forbedre seg ved neste test ha medført at

de gikk for hardt ut og dermed ikke presterte like bra som de kanskje kunne ha gjort. Videre skulle det gjerne også vært målt  $S_pO_2$  ved Testdag 1 og 2 slik at det hadde vært mulig å se om vi fant en sammenheng mellom  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$  og de siste minuttene av prestasjonstesten, i tillegg til om det det ville vært en større likhet i reduksjonen i  $S_pO_2$  ved  $VO_{2maks}$  og reduksjonen i  $VO_{2maks}$ , slik sett av Wehrlin og Hallén (2006, s. 410).

## **5.6 Videre forskning**

Denne studien er den første studien som har funnet en signifikant økning i utnyttingsgrad ved akutt eksponering for høyde, og det er dermed enda behov for ytterligere forskning på temaet. Det kan da både være interessant å etterprøve resultatene, men også undersøke andre distanser og andre høyder. Videre er utnyttingsgraden generelt et lite studert tema, og det trengs derfor ytterligere bidrag på forskningsfeltet for å kunne konstatere hvilke faktorer som avgjørende.

I tillegg ble det og sett at arbeidsøkonomien under prestasjonstesten ble dårligere. Forklaringen på dette er vi usikker på ettersom det strider mot tidligere studier, og bør derfor undersøkes nærmere.

## 6. Konklusjon

Funnene i denne studien viser en økning i utnyttingsgraden på 5,9 %-poeng ved akutt eksponering for høyde (2000 moh.). Både  $VO_{2\text{maks}}$  og prestasjon faller i samsvar med tidligere funn, men forskjellen mellom dem var mindre enn forventet, hvilket skyldes at også arbeidsøkonomien under prestasjonstesten ble dårligere i dette forsøket. Under de submaksimale belastningene er derimot  $VO_2$  og dermed også arbeidsøkonomien uendret.

## Referanser

- Acevedo, E. O. & Goldfarb, A. H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Med Sci Sports Exerc*, 21(5), 563-568. <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=2607946>
- Andersen, P. & Henriksson, J. (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J Physiol*, 270(3), 677-690. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011975>
- Bahr, R., Hallén, J. & Medbø, J. I. (1991). *Testing av idrettsutøvere*. Universitetsforlaget.
- Bassett, D. R., Jr. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70-84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bosquet, L., Léger, L. & Legros, P. (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med*, 32(11), 675-700. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232110-00002>
- Calbet, J. A. & Lundby, C. (2009). Air to muscle O<sub>2</sub> delivery during exercise at altitude. *High Alt Med Biol*, 10(2), 123-134. <https://doi.org/10.1089/ham.2008.1099>
- Candau, R., Belli, A., Millet, G. Y., Georges, D., Barbier, B. & Rouillon, J. D. (1998). Energy cost and running mechanics during a treadmill run to voluntary exhaustion in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(6), 479-485. <https://doi.org/10.1007/s004210050363>
- Chapman, R. F., Karlsen, T., Ge, R. L., Stray-Gundersen, J. & Levine, B. D. (2016). Living altitude influences endurance exercise performance change over time at altitude. *J Appl Physiol (1985)*, 120(10), 1151-1158. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00909.2015>
- Costill, D. L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W. & Hoopes, D. (1977). Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 43(4), 695-699. <https://doi.org/10.1152/jappl.1977.43.4.695>
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev*, 23, 25-63.

- Coyle, E. F. (1999). Physiological determinants of endurance exercise performance. *J Sci Med Sport*, 2(3), 181-189. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(99\)80172-8](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(99)80172-8)
- Coyle, E. F. (2005). Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *J Appl Physiol* (1985), 98(6), 2191-2196. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00216.2005>
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hopper, M. K. & Walters, T. J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985), 64(6), 2622-2630. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.6.2622>
- Davies, C. T. & Thompson, M. W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 41(4), 233-245. <https://doi.org/10.1007/bf00429740>
- Dempsey, J. A. & Forster, H. V. (1982). Mediation of Ventilatory Adaptations. *Physiol Rev*, 62(1), 262-346. <https://doi.org/10.1152/physrev.1982.62.1.262>
- Dempsey, J. A., Hanson, P. G. & Henderson, K. S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol*, 355, 161-175. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015412>
- Ferretti, G., Moia, C., Thomet, J. M. & Kayser, B. (1997). The decrease of maximal oxygen consumption during hypoxia in man: a mirror image of the oxygen equilibrium curve. *J Physiol*, 498(1), 231-237. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1997.sp021854>
- Folkehelseinstituttet. (2015). *Anbefalte faglige normer for inneklima: revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer 2015*. Nasjonalt Folkehelseinstitutt. <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2015/anbefalte-faglige-normer-for-inneklima-pdf.pdf>
- Foss, Ø. & Hallén, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *Int J Sports Med*, 26(7), 569-575. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821317>
- Friedmann, B., Frese, F., Menold, E. & Bärtzsch, P. (2007). Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol*, 101(1), 67-73. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0473-0>
- Fulco, C. S., Rock, P. B. & Cymerman, A. (1998). Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med*, 69(8), 793-801.

- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31(10), 725-741.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Scroop, G. C., Watson, D. B., Norton, K. I., Wood, R. J., Campbell, D. P. & Emonson, D. L. (1996). Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J Appl Physiol* (1985), 80(6), 2204-2210. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.6.2204>
- Hallén, J. & Ronglan, L. T. (2011). *Treningslære for idrettene*. Akilles.
- Hamlin, M. J., Hopkins, W. G. & Hollings, S. C. (2015). Effects of altitude on performance of elite track-and-field athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(7), 881-887. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0261>
- Hollings, S. C., Hopkins, W. G. & Hume, P. A. (2012). Environmental and venue-related factors affecting the performance of elite male track athletes. *European Journal of Sport Science*, 12(3), 201-206.  
<https://doi.org/DOI:10.1080/17461391.2011.552640>
- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(4), 831-838. <https://doi.org/10.1152/jappl.1984.56.4.831>
- Ingjer, F. (1991). Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 1(1), 25-30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1991.tb00267.x>
- Jokl, E., Jokl, P. & Seaton, D. C. (1969). Effect of altitude upon 1968 Olympic Games running performances. *Int J Biometeorol*, 13(3), 309-311.  
<https://doi.org/10.1007/bf01553038>
- Jones, A. M. (2006). The Physiology of the World Record Holder for the Women's Marathon. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1(2), 101-116.  
<https://doi.org/10.1260/174795406777641258>
- Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krstrup, P., Bangsbo, J. & Poole, D. C. (2011). Slow component of VO<sub>2</sub> kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Med Sci Sports Exerc*, 43(11), 2046-2062.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821fcfc1>

- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol*, 586(1), 35-44.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Larsen, H. B. (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 136(1), 161-170. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(03\)00227-7](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(03)00227-7)
- Lawler, J., Powers, S. K. & Thompson, D. (1988). Linear relationship between VO<sub>2</sub>max and VO<sub>2</sub>max decrement during exposure to acute hypoxia. *J Appl Physiol (1985)*, 64(4), 1486-1492. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.64.4.1486>
- Liao, Y. H., Mündel, T., Yang, Y. T., Wei, C. C. & Tsai, S. C. (2019). Effects of periodic carbohydrate ingestion on endurance and cognitive performances during a 40-km cycling time-trial under normobaric hypoxia in well-trained triathletes. *J Sports Sci*, 37(16), 1805-1815.  
<https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1595338>
- Losnegard, T. (2019). Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *Eur J Appl Physiol*, 119(8), 1675-1690. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04158-x>
- Lundby, C., Calbet, J. A., Sander, M., van Hall, G., Mazzeo, R. S., Stray-Gundersen, J., Stager, J. M., Chapman, R. F., Saltin, B. & Levine, B. D. (2007). Exercise economy does not change after acclimatization to moderate to very high altitude. *Scand J Med Sci Sports*, 17(3), 281-291. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00530.x>
- Lundby, C., Sander, M., van Hall, G., Saltin, B. & Calbet, J. A. (2006). Maximal exercise and muscle oxygen extraction in acclimatizing lowlanders and high altitude natives. *J Physiol*, 573(2), 535-547.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.106765>
- MacLeod, K. E., Nugent, S. F., Barr, S. I., Koehle, M. S., Sporer, B. C. & MacInnis, M. J. (2015). Acute Beetroot Juice Supplementation Does Not Improve Cycling Performance in Normoxia or Moderate Hypoxia. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 25(4), 359-366. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0129>
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (Red.). (2010). *Exercise Physiology: nutrition, energy, and human performance* (7. utg.). Wolters Kluwer Health.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. & Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance

- runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med*, 36(2), 117-132.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00003>
- Mollard, P., Woorons, X., Letournel, M., Lamberto, C., Favret, F., Pichon, A., Beaudry, M. & Richalet, J. P. (2007a). Determinant factors of the decrease in aerobic performance in moderate acute hypoxia in women endurance athletes. *Respir Physiol Neurobiol*, 159(2), 178-186. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2007.06.012>
- Mollard, P., Woorons, X., Letournel, M., Lamberto, C., Favret, F., Pichon, A., Beaudry, M. & Richalet, J. P. (2007b). Determinants of maximal oxygen uptake in moderate acute hypoxia in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 100(6), 663-673. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0457-0>
- Moon, H. W., Sunoo, S., Park, H. Y., Lee, D. J. & Nam, S. S. (2016). Effects of various acute hypoxic conditions on metabolic parameters and cardiac function during exercise and recovery. *Springerplus*, 5(1), Artikel 1294.  
<https://doi.org/10.1186/s40064-016-2952-4>
- Nybäck, L., Glännerud, C., Larsson, G., Weitzberg, E., Shannon, O. M. & McGawley, K. (2017). Physiological and performance effects of nitrate supplementation during roller-skiing in normoxia and normobaric hypoxia. *Nitric Oxide*, 70, 1-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.niox.2017.08.001>
- Peltonen, J. E., Rantamäki, J., Niittymäki, S. P., Sweins, K., Viitasalo, J. T. & Rusko, H. K. (1995). Effects of oxygen fraction in inspired air on rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*, 27(4), 573-579.  
<https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=7791589>
- Peltonen, J. E., Tikkanen, H. O. & Rusko, H. K. (2001). Cardiorespiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol*, 85(1-2), 82-88. <https://doi.org/10.1007/s004210100411>
- Périard, J. D. & Racinais, S. (2016). Performance and Pacing during Cycle Exercise in Hyperthermic and Hypoxic Conditions. *Med Sci Sports Exerc*, 48(5), 845-853.  
<https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000839>
- Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S. & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO<sub>2</sub> max. *J Appl Physiol* (1985), 66(6), 2491-2495. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.6.2491>
- Rehua. (2014). *Hemoglobin saturation curve*. Wikimedia Commons.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin\\_saturation\\_curve.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin_saturation_curve.svg)



- Ribeiro, J. P., Hughes, V., Fielding, R. A., Holden, W., Evans, W. & Knuttgen, H. G. (1986). Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(2), 215-221. <https://doi.org/10.1007/bf00715008>
- Saltin, B. (1985). Hemodynamic adaptations to exercise. *Am J Cardiol*, 55(10), 42d-47d. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(85\)91054-9](https://doi.org/10.1016/0002-9149(85)91054-9)
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. & Hawley, J. A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med*, 34(7), 465-485. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434070-00005>
- Schober, P., Boer, C. & Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg*, 126(5), 1763-1768. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000002864>
- Schuler, B., Thomsen, J. J., Gassmann, M. & Lundby, C. (2007). Timing the arrival at 2340 m altitude for aerobic performance. *Scand J Med Sci Sports*, 17(5), 588-594. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2006.00611.x>
- Sjödin, B. & Svedenhag, J. (1985). Applied physiology of marathon running. *Sports Med*, 2(2), 83-99. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502020-00002>
- Skattebo, Ø., Calbet, J. A. L., Rud, B., Capelli, C. & Hallén, J. (2020). Contribution of oxygen extraction fraction to maximal oxygen uptake in healthy young men. *Acta Physiol (Oxf)*, 230(2), Artikkel e13486. <https://doi.org/10.1111/apha.13486>
- Sutton, J. R. (1992). Limitations to maximal oxygen uptake. *Sports Med*, 13(2), 127-133. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213020-00008>
- Thomas, D. Q., Fernhall, B. & Granat, H. (1999). Changes in Running Economy During a 5-km Run in Trained Men and Women Runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(2), 162-167. [https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/1999/05000/Changes\\_in\\_Running\\_Economy\\_During\\_a\\_5\\_km\\_Run\\_in.11.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/1999/05000/Changes_in_Running_Economy_During_a_5_km_Run_in.11.aspx)
- Wagner, P. D. (1996). Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu Rev Physiol*, 58, 21-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.58.030196.000321>
- Wehrin, J. P. & Hallén, J. (2006). Linear decrease in VO<sub>2</sub>max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 96(4), 404-412. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0081-9>
- Widmaier, E. P., Raff, H. & Strang, K. T. (Red.). (2016). *Vander's Human Physiology: The Mechanisms of Body Function* (14. utg.). McGraw-Hill Education.

Zhou, B., Conlee, R. K., Jensen, R., Fellingham, G. W., George, J. D. & Fisher, A. G. (2001). Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1849-1854.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00008>

## Tabelloversikt

**Tabell 1:** Deltakernes karakteristikk. .... 20

**Tabell 2:** Fysiologiske- og prestasjonsdata for prestasjonstestene på de to eksperimentelle dagene, samt den prosentvise forskjellen mellom dem. .... 30

## Figuroversikt

<b>Figur 1:</b> Hemoglobinetts dissosiasjonskurve viser sammenhengen mellom partialtrykket til oksygen ( $PO_2$ ) og hemoglobinetts oksygenmetning i arterielt blod ( $S_aO_2$ ). Hemoglobin saturation curve, av Rehua, 2014, Wikimedia Commons, ( <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin_saturation_curve.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hemoglobin_saturation_curve.svg</a> ).....	13
<b>Figur 2:</b> Eksperimentelt design.....	21
<b>Figur 3:</b> Grafen viser $VO_2$ ( $ml \cdot min^{-1}$ ) ved de ulike hastighetene ( $km \cdot t^{-1}$ ) til en av deltakerne under laktatprofil-testen ved 300 moh. Samt 80 % av $VO_{2maks}$ ved 300 moh. ....	25
<b>Figur 4:</b> Testprotokollen gjennomført på Testdag 3 og 4.....	26
<b>Figur 5:</b> En av deltakerne under testingen i lavtrykkstanken. ....	27
<b>Figur 6:</b> $[La^-]_{bl}$ , HF, VE, $VO_2$ , ventilatorisk ekvivalent ( $VE/VO_2$ ), RER, $VO_2$ på 300- og 2000 moh. Data er presentert som gjennomsnitt $\pm$ SD. * = $p < 0,05$ . $n = 6$ . ....	28
<b>Figur 7:</b> Deltakernes individuelle $VO_{2maks}$ ved 300- og 2000 moh. $n = 6$ . ....	29
<b>Figur 8:</b> Utviklingen av hastighet, $VO_2$ i % av $VO_{2maks}$ , $VO_2$ , VE, $VE/VO_2$ , RER, $S_pO_2$ og HF gjennom prestasjonstesten ved 300- og 2000 moh. (gjennomsnitt $\pm$ SD). * = $p < 0,05$ . $0^\#$ = første minuttet av testen. $n = 6$ . ....	31
<b>Figur 9:</b> Sammenhengen mellom $VO_{2maks}$ ved 300 moh. og den prosentvise endringen ( $\Delta$ ) i $VO_{2maks}$ fra 300- til 2000 moh. Data er presentert som lineær regresjon (stripet linje). $n = 6$ . ....	34
<b>Figur 10:</b> Forskjell i $S_pO_2$ og endringen ( $\Delta$ ) i hastighet mellom deltakerne som løp samme hastighet (SH) under både 300 moh. og 2000 moh. og deltakerne som reduserte med $1 km \cdot t^{-1}$ (RH) ved 2000 moh. $0^\#$ = første minutt av testen. $n = 6$ . ....	40

## Forkortelser

$A-vO_{2diff}$	Arteriovenøs oksygendifferanse
BV	Blodvolum
$C_aO_2$	Konsentrasjonen av oksygen i arterielt blod
$CO_2$	Karbondioksid
DBP	Diastolisk blodtrykk
EIAH	Arbeids-indusert arteriell hypoksemi
Hb	Hemoglobin
[Hb]	Hemoglobinkonsentrasjonen i blodet
HF	Hjertefrekvens
HFmaks	Maksimal hjertefrekvens
$[La^-]_{bl}$	Laktatkonsentrasjon
Moh.	Meter over havet
MV	Hjertets minuttvolum
$MV_{maks}$	Hjertets maksimale minuttvolum
$O_2$	Oksygen
$P_{AO_2}$	Partialtrykket til oksygen i alveolene
$P_aO_2$	Partialtrykket til oksygen i arterielt blod
$PCO_2$	Partialtrykket til karbondioksid
$P_I O_2$	Partialtrykket til oksygen i inspirert luft
$PO_2$	Partialtrykket til oksygen
RER	Respiratorisk utvekslingskoeffisient
RH	Redusert hastighet
$S_aO_2$	Arteriell oksygenmetning av hemoglobin
SH	Samme hastighet
SBP	Systolisk blodtrykk

SD	Standardavvik
S <sub>p</sub> O <sub>2</sub>	Arteriell oksygenmetning av hemoglobin målt med pulsoksimeter
SV	Slagvolum
VE	Ventilasjon
VE/VCO <sub>2</sub>	Ventilatorisk ekvivalent for karbondioksid
VE/VO <sub>2</sub>	Ventilatorisk ekvivalent for oksygen
VO <sub>2</sub>	Oksygenopptak
VO <sub>2maks</sub>	Maksimalt oksygenopptak

## Vedlegg

- I. Godkjenning Norsk Senter for Forskningsdata
- II. Godkjenning Etisk Komité
- III. Informasjonsskriv til deltakerne
- IV. Egenerklæring for deltakerne
- V. Registreringsskjema lavtrykkstanken (Laktatprofil-test og  $VO_{2maks}$ -test)
- VI. Registreringsskjema laktatprofil-test og  $VO_{2maks}$ -test
- VII. Registreringsskjema lavtrykkstanken (Prestasjonstest)
- VIII. Registreringsskjema prestasjonstest

**NSD sin vurdering**

**Prosjekttittel**

Effekt av høyde på utnytting av det maksimale oksygenopptaket

**Referansenummer**

295257

**Registrert**

13.08.2020 av Jostein Hallén - josteih@nih.no

**Behandlingsansvarlig institusjon**

Norges idrettshøgskole / Institutt for fysisk prestasjonsevne

**Prosjektansvarlig (vitenskapelig ansatt/veileder eller stipendiat)**

Jostein Hallén, jostein.hallen@nih.no, tlf: 97039433

**Type prosjekt**

Studentprosjekt, masterstudium

**Kontaktinformasjon, student**

Mali Godhei, maligodhei@msn.com , tlf: 92859179

**Prosjektperiode**

15.09.2020 - 31.12.2022

**Status**

24.08.2020 - Vurdert

**Vurdering (1)**

---

**24.08.2020 - Vurdert**

Prosjektleder skal innhente godkjenning fra Etisk komité, Norges idrettshøgskole . Dersom vedtak fra Etisk komité, Norges



idrettshøgsskole medfører endringer i prosjektet må dette meldes til NSD ved å oppdatere meldeskjemaet. Det er vår vurdering at behandlingen av personopplysninger i prosjektet vil være i samsvar med personvernlovgivningen så fremt den gjennomføres i tråd med det som er dokumentert i meldeskjemaet den 24.08.2020 med vedlegg, samt i meldingsdialogen mellom innmelder og NSD. Behandlingen kan starte når vedtak fra Etisk komité, Norges idrettshøgsskole foreligger. MELD VESENTLIGE ENDRINGER Dersom det skjer vesentlige endringer i behandlingen av personopplysninger, kan det være nødvendig å melde dette til NSD ved å oppdatere meldeskjemaet. Før du melder inn en endring, oppfordrer vi deg til å lese om hvilke type endringer det er nødvendig å melde:

[https://nsd.no/personvernombud/meld\\_prosjekt/meld\\_endringer.html](https://nsd.no/personvernombud/meld_prosjekt/meld_endringer.html) Du må vente på svar fra NSD før endringen gjennomføres. TYPE OPPLYSNINGER OG VARIGHET

Prosjektet vil behandle særlige kategorier av personopplysninger om helseforhold og alminnelige kategorier av personopplysninger frem til 31.12.2022. Av dokumentasjonshensyn eller vilkår fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk skal data med personopplysninger oppbevares til 31.12.2027 LOVLIG GRUNNLAG Prosjektet vil innhente samtykke fra de registrerte til behandlingen av personopplysninger. Vår vurdering er at prosjektet legger opp til et samtykke i samsvar med kravene i art. 4 nr. 11 og art. 7, ved at det er en frivillig, spesifikk, informert og utvetydig bekreftelse, som kan dokumenteres, og som den registrerte kan trekke tilbake. Lovlig grunnlag for behandlingen vil dermed være den registrertes uttrykkelige samtykke, jf. personvernforordningen art. 6 nr. 1 bokstav a, jf. art. 9 nr. 2 bokstav a, jf. personopplysningsloven § 10, jf. § 9 (2). PERSONVERNPRINSIPPER NSD vurderer at den planlagte behandlingen av personopplysninger vil følge prinsippene i personvernforordningen om: - lovlighet, rettferdighet og åpenhet (art. 5.1 a), ved at de registrerte får tilfredsstillende informasjon om og samtykker til behandlingen - formålsbegrensning (art. 5.1 b), ved at personopplysninger samles inn for spesifikke, uttrykkelig angitte og berettigede formål, og ikke viderebehandles til nye uforenlige formål - dataminimering (art. 5.1 c), ved at det kun behandles opplysninger som er adekvate, relevante og nødvendige for formålet med prosjektet - lagringsbegrensning (art. 5.1 e), ved at personopplysningene ikke lagres lengre enn nødvendig for å oppfylle formålet

DE REGISTRERTES RETTIGHETER Så lenge de registrerte kan identifiseres i datamaterialet vil de ha følgende rettigheter: åpenhet (art. 12), informasjon (art. 13), innsyn (art. 15), retting (art. 16), sletting (art. 17), begrensning (art. 18), underretning (art. 19) og dataportabilitet (art. 20). NSD vurderer at informasjonen som de registrerte vil motta oppfyller lovens krav til form og innhold, jf. art. 12.1 og art. 13. Vi minner om at hvis en registrert tar kontakt om sine rettigheter, har behandlingsansvarlig institusjon plikt til å svare innen en måned. FØLG DIN INSTITUSJONS RETNINGSLINJER NSD legger til grunn at behandlingen oppfyller kravene i personvernforordningen om riktighet (art. 5.1 d), integritet og konfidensialitet (art. 5.1. f) og sikkerhet (art. 32). For å forsikre dere om at kravene oppfylles, må dere følge interne retningslinjer og eventuelt rådføre dere med behandlingsansvarlig institusjon. OPPFØLGING AV PROSJEKTET NSD vil følge opp ved planlagt avslutning for å avklare om behandlingen av personopplysningene er avsluttet. Lykke til med prosjektet! Kontaktperson hos NSD: Ina Nepstad Tlf. Personverntjenester: 55 58 21 17 (tast 1)

## Søknad 151 – 270820 - Effekt av høyde på utnytting av det maksimale oksygenopptak

Vi viser til søknad, prosjektbeskrivelse, informasjonsskriv og innsendt melding til NSD.

I henhold til retningslinjer for behandling av søknad til etisk komitee for idrettsvitenskapelig forskning på mennesker, ble det i komiteens møte av 27. august 2020 konkludert med følgende:

### Vurdering

Vedlagt søknaden følger en egenerklæring om helse som komiteen legger til grunn skal brukes som ledd i screening og inklusjon av forskningsdeltakerne. Det fremgår imidlertid ikke tydelig av søknaden når erklæringen skal fylles ut og om data planlegges lagres med øvrig prosjektdokumentasjon. Komiteen anbefaler at det i samtykke til deltakerne redegjøres for formålet med egenerklæringen samt hva som skjer med informasjonen som samles inn.

### Vedtak

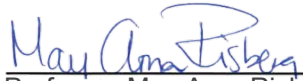
*På bakgrunn av forelagte dokumentasjon finner komiteen at prosjektet er forsvarlig og at det kan gjennomføres innenfor rammene av anerkjente etiske forskningsetiske normer nedfelt i NIHs retningslinjer. Til vedtaket har komiteen lagt følgende forutsetning til grunn:*

- *Vilkår fra NSD følges*

Komiteen forutsetter videre at prosjektet gjennomføres på en forsvarlig måte i tråd med de til enhver tid gjeldende tiltak ifbm Covid-19 pandemien.

Komiteen gjør oppmerksom på at vedtaket er avgrenset i tråd med fremlagte dokumentasjon. Dersom det gjøres vesentlige endringer i prosjektet som kan ha betydning for deltakernes helse og sikkerhet, skal dette legges fram for komiteen før eventuelle endringer kan iverksettes.

Med vennlig hilsen



Professor May Arna Risberg

Stedfortredende leder, Etisk komite, Norges idrettshøgskole

**NIH** NORGES  
IDRETTSHØGSKOLE

Besøksadresse: Sognsveien 220, Oslo  
Postadresse: Pb 4014 Ullevål Stadion, 0806 Oslo  
Telefon: +47 23 26 20 00, [postmottak@nih.no](mailto:postmottak@nih.no)  
[www.nih.no](http://www.nih.no)

**Vedlegg II**

FORESPØRSEL OM DELTAKELSE I FORSKNINGSPROSJEKTET

HVORDAN ENDRES UTNYTTINGSGRADEN I HØYDEN?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt for å undersøke hvordan utnyttingsgraden påvirkes av høyde (meter over havet). Utnyttingsgrad er en viktig prestasjonsbestemmende faktor innen kondisjonsidretter med varighet over 10 minutter og defineres som hvor mange prosent av det maksimale oksygenopptaket ( $VO_{2maks}$ ) en utøver klarer å utnytte gjennom en hel distanse. Betydningen av en god utnyttingsgrad øker med økende konkurransevarighet. I høyden er det sett en reduksjon i prestasjon i konkurranser med lengre varighet. Tidligere studier har funnet at  $VO_{2maks}$  reduseres i høyden, mens arbeidsøkonomi og anaerob kapasitet forblir uendret – de tre resterende fysiologiske prestasjonsbestemmende faktorene. Vi vet imidlertid ikke hvordan utnyttingsgraden endres, men på bakgrunn av resultater som viser at fallet i  $VO_{2maks}$  er større enn fallet i prestasjon, kan det se ut som at utnyttingsgraden øker.

I dette forsøket vil vi derfor undersøke hvordan utnyttingsgraden endres i høyden? Vi søker menn og kvinner i alderen 18-40 år som er eller tidligere har vært aktive innen kondisjonsidrett.

Om du har lest denne informasjonen og ønsker å delta som forsøksperson ber vi deg skrive under og returnere den siste siden til oss. Du kan når som helst trekke deg fra studien uten å oppgi grunn.

Mali Godhei (epost godheimali@gmail.com, telefon: 92859179) vil gjennomføre testingen i prosjektet. Ansvarlig for studien er Norges idrettshøgskole og prosjektleder er professor Jostein Hallén.

HVA INNEBÆRER PROSJEKTET?

I dette prosjektet må du som forsøksperson møte til testing ved fire anledninger i tidsperioden 21. september – 15. desember. Testene vil foregå i lavtrykkstanken (høydetanken) ved Norges idrettshøgskole og ta ca. 60-90 min hver gang. Avhengig av hvor trent du er på tredemølleløping kan det være aktuelt med en tilvenningsdag før selve forsøket begynner. De to første testdagene av selve forsøket vil bestå av en melkesyreprofiltest og en  $VO_{2maks}$ -test. En av dagene vil gjennomføres på simulert 300 meters høyde (moh.) og en dag på 2000 moh. Du skal også prøve ut farten du skal løpe på under prestasjonstesten dag 3 og 4. På prestasjonstesten dag 3 og 4 skal du løpe en gitt distanse så raskt som mulig (du bestemmer farten på tredemølla). Distansen blir beregnet individuelt slik at det vil ta ca 25 min.

Før testingen starter må du fylle inn et skjema angående egen helse og blodtrykket ditt blir målt. Skjemaet blir makulert umiddelbart etter at det er kontrollert av prosjektleder. Ved melkesyreprofiltesten løper du 4 – 5 ikke-maksimale drag på 5 min hver. Det måles hjerterefrekvens og oksygenopptak på hvert drag. Oksygenopptaket måles ved at du puster gjennom et munnstykke forbundet til en slange. Etter hvert drag måles melkesyre ved at det tas en liten blodprøve fra et stikk i en finger.  $VO_{2maks}$  testen utføres også med

## Hvordan endres utnyttingsgraden i høyden?

gradvis økende fart, men denne gang løpes det til utmattelse. Varigheten er 4 – 8 min. Utnyttingsgraden måles på dag 3 og 4 ved prestasjonstesten på henholdsvis 300 og 2000 moh. Også ved disse testene vil det utføres laktatmålinger og måling av oksygenopptak og hjerterefrekvens.

- Dag 0 - Eventuelt en tilvenningsdag
- Dag 1 - Melkesyreprofil og VO2maks (300/2000 moh.)
- Dag 2 - Melkesyreprofil og VO2maks (300/2000 moh.)
- Dag 3 - Prestasjonstest (300/2000 moh.)
- Dag 4 - Prestasjonstest (300/2000 moh.)

### MULIGE FORDELER OG ULEMPER

Ved å delta i dette prosjektet vil du uten kostnader få testet ditt maksimale oksygenopptak, utnyttingsgrad og laktatprofil. Dette er variabler som ellers ville vært svært dyre å få informasjon om. Din deltakelse vil gi et innblikk i hvordan forskning bedrives og du vil bidra til ny kunnskap om temaet utnyttingsgrad og effekt av høyde, noe som er relevant om man driver med kondisjonsidretter.

Deltakelse vil kreve noe tidsbruk i forbindelse med testene og testene vil også være ganske belastende. Imidlertid kan du i stor grad velge tidspunkt for testene selv slik at det kan passe inn som en hard treningsøkt på tredemølle. For friske voksne vil det normalt ikke være noen risiko å delta.

### FRIVILLIG DELTAKELSE OG MULIGHET FOR Å TREKKE SITT SAMTYKKE

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger 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 studien, kan du kontakte prosjektleder Jostein Hallen (97039433, [jostein.hallen@nih.no](mailto:jostein.hallen@nih.no))

### DITT PERSONVERN – HVORDAN VI OPPBEVARER OG BRUKER DINE OPPLYSNINGER?

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrevet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Alle opplysningene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjenner opplysninger. En kode knytter deg til opplysninger gjennom en navneliste som oppbevares innelåst og adskilt fra øvrige data. 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.

Testperioden er fra september – desember 2020 og prosjektet avsluttes i 2022. Informasjon om deg vil bli oppbevart i 5 år etter prosjektslutt for etterprøvnbarhet og kontroll før de slettes. Prosjektleder har ansvar for den daglige driften av forskningsprosjektet og at opplysninger om deg blir behandlet på en sikker måte.

### DINE RETTIGHETER

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- få slettet personopplysninger om deg,
- få utlevert en kopi av dine personopplysninger (dataportabilitet), og
- å sende klage til personvernombudet eller Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

Hvordan endres utnyttingsgraden i høyden?

#### HVA GIR OSS RETT TIL Å BEHANDLE PERSONOPPLYSNINGER OM DEG?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra Norges idrettshøgskole har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

#### HVOR KAN JEG FINNE UT MER?

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Prosjektansvarlig: Jostein Hallén, [jostein.hallen@nih.no](mailto:jostein.hallen@nih.no), telefon: 97039433
- Vårt personvernombud: Karine Justad, [karine.justad@nih.no](mailto:karine.justad@nih.no), telefon: 23 26 20 89/975 36 704
- NSD-Norsk senter for forskningsdata AS, [personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no) eller telefon: 55 58 21 17.

#### FORSIKRING

Alle deltakerne er forsikret ved at NIH som statlig institusjon er selvassurandør.

#### GODKJENNING

Studien er godkjent av intern etisk komite ved Norges idrettshøgskole.

#### SAMTYKKE TIL DELTAKELSE I PROSJEKTET

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «Hva påvirker utholdenheten i kondisjonsidretter?» og har fått anledning til å stille spørsmål.

Jeg samtykker til å delta i datainnsamlingen som er beskrevet ovenfor.

Jeg samtykker også til at mine opplysninger oppbevares 5 år etter prosjektslutt til om lag 31. desember 2027.

---

Sted og dato

Deltakers signatur

---

Deltakers navn med trykte bokstaver

## Egenerklæring for deltakere alder 18 – 40 år i prosjekt med maksimal løping tredemølle

Etternavn:	Fornavn:
------------	----------

Takk for at du vurderer å delta som forsøksperson ved Norges idrettshøgskole! Før du kan delta, må vi imidlertid kartlegge om din deltakelse kan medføre noen form for helse- eller skaderisiko. Vær snill å lese gjennom alle spørsmålene nøye og svar ærlig ved å krysse av for JA eller NEI. Hvis du er i tvil, bør du be om å få snakke med legen som er ansvarlig for forsøket.

Hvis du krysser av for JA på ett eller flere av disse spørsmålene, må du gjennomgå en legeundersøkelse før forsøksstart.

Spørsmål	JA	NEI
1. Kjenner du til at du har en hjertesjukdom?		
2. Hender det du får brystmerter i hvile eller i forbindelse med fysisk aktivitet?		
3. Kjenner du til at du har høyt blodtrykk?		
4. Bruker du for tiden medisiner for høyt blodtrykk eller hjertesjukdom? (f.eks. vann drivende midler)?		
5. Har noen av dine foreldre, søsken eller barn fått hjerteinfarkt eller dødd plutselig (før fylte 55 år for menn og 65 år for kvinner)?		
6. Røyker du?		
7. Har du besvimt i løpet av de siste seks månedene?		
8. Hender det du mister balansen på grunn av svimmelhet?		
9. Har du sukkersjuka (diabetes)?		
10. Får du allergiske eller hypersensitive reaksjoner av bedøvelse?		
11. Kjenner du til noen annen grunn til at din deltakelse i prosjektet kan medføre helse- eller skaderisiko?		

Gi beskjed straks dersom din helsesituasjon forandrer seg fra nå og til undersøkelsen er ferdig, f.eks. ved at du blir forkjølet eller får feber.

Blodtrykk: \_\_\_\_\_

Utnyttingsgraden i høyde

Registrering tank - Laktatprofil og VO<sub>2</sub>maks

FP nr:

Testdag nr:

Klokkeslett:

Dato:

<b>Start oxi:</b>						
<b>Start tank:</b>						
<b>Drag</b>	<b>Kl.</b>	<b>O2</b>	<b>CO2</b>	<b>Trykk</b>	<b>Temp</b>	<b>Kommentar</b>
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
VO <sub>2</sub> maks start						
VO <sub>2</sub> maks slutt						
<b>Slutt oxi:</b>						
<b>Slutt tank:</b>						

Inn i tank:

Oppe:

Ut av tank:

Nede:

Utnyttingsgrad i høyden



Forsøksperson nr:

Testdag:

Klokkeslett:

Dato:

### Laktatprofil-test

	Enhet	1. belastning	2. belastning	3. belastning	4. belastning	5. belastning	6. belastning	7. belastning	8. belastning
Hastighet	km/t								
O2-opptak	ml/kg/min								
O2-opptak	l/min								
RER									
Hjertefrekvens	slag/min								
Laktat	mmol/L								
Estimert LT	mmol/L								
Annet:									

Estimert MT = gjennomsnittet av de to første verdiene + 2,1

Minutter	1. b.	2. b	3. b	4. b	5. b	6. b	7. b	8. b
2,5								
3								
3.30								
4								
4.30								

Forsøksperson nr:

Testdag:

Klokkeslett:

Dato:

VO<sub>2</sub>maks -test

	1.belastning	2.belastning	3.belastning	4.belastning	5.belastning	6.belastning	7.belastning	8.belastning
Hastighet (km/t)								
O <sub>2</sub> -opptak (ml/kg/min)								
RER								

HF per 15 sek	1 b.	2 b.	3 b.	4 b.	5 b.	6 b.	7 b.	8 b.
15								
30								
45								
60								
Laktat 3 min etter test:								
Var ca .....min pause mellom laktaprofil-test og VO <sub>2</sub> maks-test								

Utnyttingsgrad i høyden

Registrering tank - Prestasjonstest

FP nr:

Testdag nr:

Klokkeslett:

Dato:

<b>Start oxi:</b>						
<b>Start tank:</b>						
<b>Minutt</b>	<b>Kl.</b>	<b>O2</b>	<b>CO2</b>	<b>Trykk</b>	<b>Temp</b>	<b>Kommentar</b>
0						
5						
10						
Teststart:						
5						
10						
15						
20						
25						
Testslutt:						
<b>Slutt oxi:</b>						
<b>Slutt tank:</b>						

Inn i tank:

Oppe:

Ut av tank:

Nede:

FP nr:

Testdag:

Klokkeslett:

Dato:

**Testprotokoll**

Tid (s)	Varighet	Distanse	Hastighet (km/t)	HF	Laktat	RER	O2-opptak (L/min)	O2-opptak (ml/kg/min)
Pretest - 00:00								
00:30	30							
01:00	30							
01:30	30							
02:00	30							
02:30	30							
03:00	30							
03:30	30							
04:00	30							
04:30	30							
05:00	30							
05:30	30							
06:00	30							
06:30	30							
07:00	30							
07:30	30							
08:00	30							
08:30	30							
09:00	30							
09:30	30							
10:00	30							
10:30	30							
11:00	30							
11:30	30							
12:00	30							
12:30	30							
13:00	30							
13:30	30							
14:00	30							
14:30	30							
15:00	30							
15:30	30							

FP nr:

Testdag:

Klokkeslett:

Dato:

Tid (s)	Varighet	Distanse	Hastighet	HF	Laktat	RER	(L/min)	(mL/min/kg)
16:00	30							
16:30	30							
17:00	30							
17:30	30							
18:00	30							
18:30	30							
19:00	30							
19:30	30							
20:00	30							
20:30								
21:00								
21:30								
22:00								
22:30								
23:00								
23:30								
24:00								
24:30								
25:00								
25:30								
26:00								
26:30								
27:00								
27:30								
28:00								
28:30								
29:00								