



Høgskolen
i Innlandet

*Høyere oksygenopptak under
intervalltrening er positivt relatert til
utvikling i aerobe prestasjonsfaktorer*

Kandidatnummer: 124, 138, 149, 153

Idrettsvitenskap med fordypning i helse og
treningsfysiologi

IDR2003

Dato: 15.05.2022

Antall ord: 6383

Sammendrag

Formål: Til tross for stor konsensus i litteraturen om at intervalltrening gjennomført på høye intensiteter av $\text{VO}_{2\text{maks}}$ er viktig for å forbedre utholdenhetsprestasjon, er det overraskende stor mangel på studier som direkte har målt oksygenopptak under øktene og sammenlignet dette med treningseffekt. I denne studien målte vi derfor oksygenopptak under samtlige intervalløkter og sammenlignet gjennomsnittlig oksygenopptak ($\text{VO}_{2\text{snitt}}$) med utvikling i fysiologiske- og prestasjonsvariabler.

Metode: 19 godt trente syklister ($68.7 \pm 5.4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $\text{VO}_{2\text{maks}}$) gjennomførte 21 intervalløkter over en 9-ukers periode. To påfølgende testdager ble gjennomført før (pretest), underveis og etter intervensjonen (posttest), for bestemmelse av $\text{VO}_{2\text{maks}}$, maksimal aerob effektutvikling (W_{maks}), effektutvikling på laktatterskel ($W_{\text{laktatterskel}}$), effektutvikling på 15- og 40 min prestasjonstest (hhv. $W_{15\text{tt}}$ og $W_{40\text{tt}}$) og prestasjonsindeks kalkulert som gjennomsnittet av de viktigste prestasjonsindikatorerne (W_{maks} , $W_{\text{laktatterskel}}$ og $W_{15\text{tt}}$). Intervalløkterne ble gjennomført med lik wattbelastning (100% av $W_{40\text{tt}}$ fra foregående testdag).

Resultat: Deltakernes $\text{VO}_{2\text{snitt}}$ varierte fra 77.1% - 93.7% av $\text{VO}_{2\text{maks}}$, og viste en positiv sammenheng med forbedring fra pre- til posttest i prestasjonsindeks, W_{maks} og $W_{\text{laktatterskel}}$ (estimat [95% konfidensintervaller]) på hhv. 0.04 vilkårlig verdi (vv) [0.03, 0.06] $p=0.009$, $0.4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ [0.3, 0.5] $p=0.005$ og $0.2 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ [0.1, 0.3] $p=0.04$ for hver prosent økning i $\text{VO}_{2\text{snitt}}$. Samtidig så vi tendenser til en positiv sammenheng mellom utvikling i $\text{VO}_{2\text{maks}}$ på $0.241 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ [0.02, 0.47] $p=0.053$ for hver prosent økning i $\text{VO}_{2\text{snitt}}$. Det var ingen sammenheng mellom $\text{VO}_{2\text{snitt}}$ og utvikling i $W_{15\text{tt}}$ og $W_{40\text{tt}}$ $0.02 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ [-0.01, 0.05] $p=0.145$ og $-0.0036 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ [-0.03, 0.02] $p=0.791$ for hver prosent økning i $\text{VO}_{2\text{snitt}}$.

Konklusjon: Resultatene indikerer en positiv sammenheng mellom $\text{VO}_{2\text{snitt}}$ fra 77.1% - 93.7% og utvikling i prestasjonsindeks, W_{maks} og $W_{\text{laktatterskel}}$, samt tendenser til en sammenheng mellom $\text{VO}_{2\text{snitt}}$ og utvikling av $\text{VO}_{2\text{maks}}$. Syklister med mål om optimal utvikling i fysiologiske- og prestasjonsvariabler bør dermed sikte etter et høyt $\text{VO}_{2\text{snitt}}$ under 5x8 min submaksimale intervalløkter.

Innholdsfortegnelse

1.0 Introduksjon	3
2.0 Metode	5
2.1 Deltakere	5
2.2 Studiedesign og prosedyre	5
2.3 Fysiologiske tester	7
2.4 Styrketest	7
2.5 Laktatprofil	7
2.6 VO_{2maks}-test	9
2.7 15 min prestasjonstest	9
2.8 Hematologiske målinger	9
2.9 40 min prestasjonstest	10
2.10 HIT-økter	11
2.11 Dataanalyse	13
3.0 Resultater	14
3.1 Effekten av VO_{2snitt} på utvikling i fysiologiske- og prestasjonsvariabler	15
3.2 Effekten av VO_{2snitt} på utvikling i fysiologiske variabler	17
3.3 Effekten av VO_{2snitt} på endring i hematologiske variabler	19
3.4 Sammenhengen mellom VO_{2snitt} og andre belastningsindikatorer	20
4.0 Diskusjon	21
4.1 VO_{2snitt}	21
4.2 Prestasjonsindeks	22
4.3 W_{laktatterskel} og W_{maks}	22
4.4 W_{15tt} og W_{40tt}	23
4.5 VO_{2maks}, utnyttingsgrad av VO_{2maks} (%) og arbeidsøkonomi	24
4.6 Hematologi	25
4.7 Perspektiv	26
5.0 Konklusjon	26
6.0 Referanseliste	27

1.0 Introduksjon

Utholdenhetsprestasjon i sykling bestemmes i stor grad av det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks}), utnyttingsgraden (% av VO_{2maks} på laktatterskel) og arbeidsøkonomien, som samlet bestemmer den høyeste arbeidsbelastningen en utøver kan holde over en lengre periode (Bassett & Howley, 2000; Joyner & Coyle, 2008). Optimal utvikling av de respektive prestasjonsfaktorene krever trening på intensiteter som stresser de sentrale- og perifere fysiologiske systemene i tilstrekkelig grad (Buchheit & Laursen, 2013; Laursen & Jenkins, 2002).

I studier som undersøker effektene av høyintensitetstrening (HIT) er intensiteten ofte omtalt som en gitt prosent av det maksimale oksygenopptaket (Billat, 2001). Dette kommer av at VO_{2maks} blir sett på som det beste målet for å beskrive kardiorespiratorisk fitness (Golden & Vaccaro 1984). Det har tidligere blitt observert utvikling i prestasjonsvariabler allerede etter trening på en intensitet tilsvarende 50% av VO_{2maks} hos utrente individer. Samtidig ble det observert en positiv sammenheng mellom utvikling i prestasjonsvariabler og treningsintensitet opp til 100% av det maksimale oksygenopptaket (Wenger & Bell, 1986). Dersom treningsstatusen til utøveren er på et høyere nivå, er det foreslått at trening på intensiteter tilsvarende 90 - 100% av VO_{2maks} er optimalt for å oppnå ytterligere adaptasjoner av de sentrale- og perifere fysiologiske prestasjonsfaktorene (Buchheit & Laursen, 2013; Midgley & Mc Naughton, 2006; Wenger & Bell, 1986). Dette kan komme av at størrelsen på stimuliet som fører til disse adaptasjonene er positivt relatert til økninger i treningsintensitet (Midgley & Mc Naughton, 2006).

I studier som har sammenlignet forskjellige HIT-økter matchet på treningsinnsats, ser man en gunstig effekt av høyere treningsintensitet på utvikling i fysiologiske- og prestasjonsvariabler (Rønnestad et al., 2014; 2020). I de to sistnevnte studiene sammenlignet de kort- og langintervaller gjennomført med maksimal innsats på godt trente- og elitesyklister. Det har tidligere blitt observert at kortintervaller med 2:1 arbeids-restitusjons forhold fører til et høyere gjennomsnittlig oksygenopptak og mer tid $\geq 90\%$ av VO_{2maks} enn mer tradisjonelle langintervaller (Rozenek et al., 2007; Rønnestad & Hansen, 2016). Det høyere oksygenopptaket under kortintervallene ble derfor foreslått å være den primære årsaken til de større forbedringene i de fysiologiske- og prestasjonsvariablene (Rønnestad et al., 2014; 2020). Det har likevel blitt observert at 4x8 min-intervaller (90% av den maksimale hjerterefrekvensen (HF_{maks})) stimulerer til større treningsadaptasjoner enn 4x4- og 4x16 min

(94- og 88% av HF_{maks} respektivt) når øktene gjennomføres med maksimal innsats (Seiler et al., 2013). Disse funnene antyder at det finnes en viktig interaksjon mellom akkumulert arbeidstid og intensitet for å optimalisere fysiologiske adaptasjoner. Dermed ser det ut til at treningsvolumet på HIT bør matches for og isolert kunne undersøke sammenhengen mellom intensitet og treningseffekt.

På samme måte har man sett et positivt forhold mellom økende intensitet og treningseffekt i studier som har sammenlignet ulike protokoller med høyintensitetstrening matchet på totalt energiforbruk (Turnes et al., 2016; Helgerud et al., 2007). Etter en 4-ukers treningsintervensjon ble det observert at gruppen som trente med mest tid på VO_{2maks} fikk større utviklinger i VO_{2maks} og effektutvikling på laktattekssel (Turnes et al., 2016). Dette er en av få studier som har målt oksygenopptak under en treningsintervensjon, selv om det kun ble målt oksygenopptak under den første og siste intervalløkten. Det har også blitt observert at 8 uker med trening på 90-95% av HF_{maks} sammenlignet med 70-85% av HF_{maks} stimulerer til større forbedringer i VO_{2maks} , men ikke i løpsøkonomi, hastighet- eller VO_2 på laktatterskel hos trente løpere (Helgerud et al., 2007).

Det er overraskende stor mangel på studier som faktisk har målt oksygenopptak underveis i samtlige HIT-økter over en lengre periode. Selv om % av VO_{2maks} blir sett på som en god intensitetsindeks har de fleste studier estimert oksygenopptaket fra enten % av HF_{maks} eller watt- og hastighetsintensiteter (Buchheit & Laursen, 2013; Helgerud et al., 2007; Midgley & McNaughton, 2006; Wenger & Bell, 1986). Dette kan være noe misvisende da blant annet % av HF_{maks} og % av VO_{2maks} nødvendigvis ikke samsvarer (Swain et al., 1994). For å undersøke effekten ulike intensiteter av det maksimale oksygenopptaket (% av VO_{2maks}) under HIT har på treningsadaptasjoner, bør utøvernes oksygenopptak måles direkte under alle treningsøkter over en lengre periode. Til vår kjennskap har ingen studier per dags dato gjort dette tidligere, på verken utrente eller trente personer. På bakgrunn av dette var formålet med denne studien å undersøke effekten gjennomsnittlig oksygenopptak under samtlige HIT-økter (VO_{2snitt}) har på fysiologiske- og prestasjonsvariabler over en 9-ukers treningsperiode. Til forskjell fra annen litteratur på feltet gjennomførte deltakerne de samme HIT-øktene med likt totalt treningsvolum og lik relativ wattbelastning. Basert på tidligere forskning (Buchheit & Laursen, 2013; Helgerud et al., 2007; Midgley & McNaughton, 2006; Rønnestad et al., 2014; Rønnestad et al., 2020; Wenger & Bell, 1986) forventet vi en positiv sammenheng mellom gjennomsnittlig oksygenopptak og utvikling i fysiologiske- og prestasjonsvariabler.

2.0 Metode

2.1 Deltakere

Totalt 27 deltakere deltok i studien, hvorav 19 deltakere ble brukt i dataanalysen (Tabell 1). Åtte av deltakerne ble ekskludert fra dataanalysen fordi de enten ikke oppfylte premisset om $\geq 60 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ved pretest ($N = 5$), eller ikke gjennomførte alle 21 HIT-øktene hensiktsmessig etter protokollen grunnet skader eller sykdom ($N = 3$). Deltakerne var landeveis- og terrengsyklister fra Norges Toppidrettsgymnas (NTG) avd. Lillehammer og Kongsvinger, aktive syklister og triatleter, samt studenter med sykkelerfaring fra bachelor i idrettsvitenskap med fordypning i helse og treningsfysiologi og master i treningsfysiologi ved Høgskolen i Innlandet avd. Lillehammer. Basert på $\text{VO}_{2\text{maks}}$, maksimal aerob effekt (W_{maks}) og relativ W_{maks} ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) ble deltakerne betraktet som “godt trente” (Jeukendrup, Craig, & Hawley, 2000) (Tabell 1).

Tabell 1 Karakteristikk og treningshistorikk til deltakerne

	N	GJ. Snitt \pm SD	Min	Maks
Generelt				
Alder (år)	19	21.9 ± 6.1	17	37
Kroppshøyde (cm)	19	181.9 ± 6	173	193
Kroppsvekt (kg)	19	73.9 ± 7.9	61.6	84.5
$\text{VO}_{2\text{maks}}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	19	68.7 ± 5.4	61.3	80.4
W_{maks} (W)	19	436 ± 51	365	542
W_{maks} ($W \cdot \text{kg}^{-1}$)	19	5.9 ± 0.5	5.0	6.9
Treningshistorikk				
Sykkelerfaring (år)	18	3.8 ± 3	0	11
Antall nasjonale ritt 2021	18	6.6 ± 6.2	0	17
Antall internasjonale ritt 2021	18	3.6 ± 6.8	0	26
Total treningstid 2021 (timer)	18	489 ± 152	260	754

Forkortelser: $\text{VO}_{2\text{maks}}$, det maksimale relative oksygenopptaket; W_{maks} , maksimal aerob effekt; W, watt.
Merknader: en deltaker mislyktes i å rapportere om treningshistorikk.

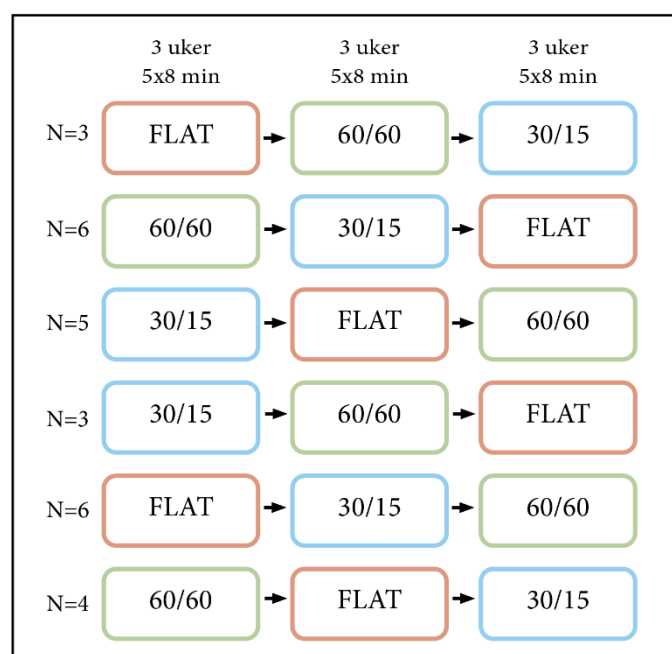
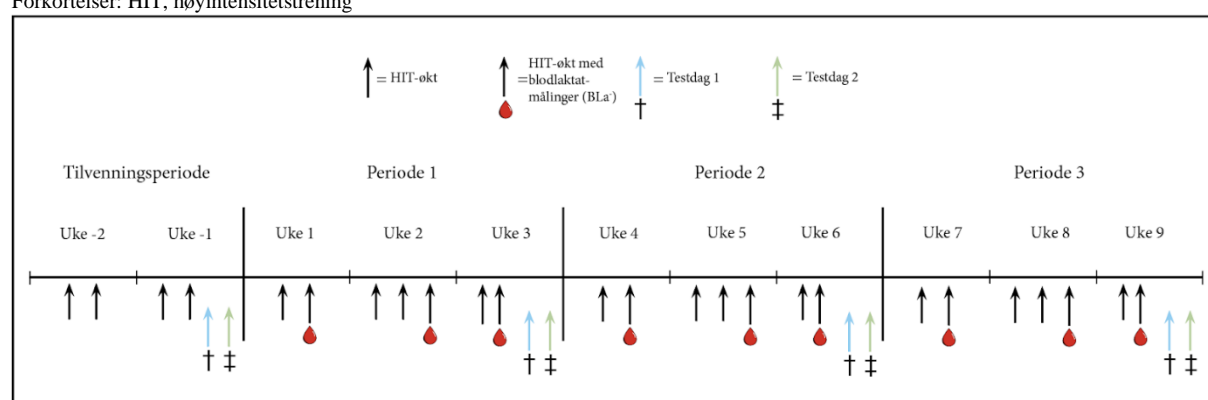
2.2 Studiedesign og prosedyre

Denne studien var en randomisert krysning-innen-gruppe-studie som strakk seg over 11 uker med en to ukers tilvenningsperiode etterfulgt av tre inndelte treningsperioder på 3 uker hver (Figur 1). Deltakerne ble inndelt i seks grupper med forskjellig periodisering av HIT-økter med 3x6 Latin Square design (Figur 2). Deltakerne ble testet (testprosedyrene beskrives senere i oppgaven) før (pretest), underveis og etter intervensjonen (posttest) (Figur 1). Testingen ble gjennomført over to påfølgende dager. Testdag 1 (T1) begynte med målinger av hematokrit (HCT) (Figur 3). Videre ble den teoretiske maksimale effektutviklingen ($\text{Effekt}_{\text{maks}}$ i watt) og den maksimale kraftutviklingen ($\text{Kraft}_{\text{maks}}$ i Newton) målt ved en

standardisert 10 repetisjoner beinpresstest. Deretter gjennomførte deltakerne en trinnvis sykkeltest for utregning av mekanisk effektivitet (GE), effektutvikling ved en blodlaktatkonsentrasjon ($[BLa^-]$) på $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($W_{\text{laktatterskel}}$) og utnyttingsgrad av $VO_{2\text{maks}}$ på $W_{\text{laktatterskel}}$. Etter en restitusjonsperiode på 5 min, ble det gjennomført en $VO_{2\text{maks}}$ -test. Etterfulgt av en ny restitusjonsperiode på 10 min ble det gjennomført en 15 min prestasjonstest. Deltakerne skulle så hvile i 30 min før det ble gjennomført målinger av total hemoglobinmasse (Hb_{masse}) og blodvolum (Figur 3). Testdag 2 (T2) bestod av en 13,5 min oppvarmingsprotokoll etterfulgt 5 min pause før det ble gjennomført en 40 min prestasjonstest (Figur 4).

Figur 1 Tidslinje med oversikt over hele treningsintervensjonen.

Forkortelser: HIT, høyintensitetstrening



Figur 2: Periodisering av intervalløkter

Forkortelser: N, antall deltakere; 30/15, elleve 30-sekunders arbeidsperioder på 118% av $W_{40\text{tt}}$; (gjennomsnittlig effektutvikling på 40 min prestasjonstest) skilt av 15 sekunders aktiv restitusjon på 60% av $W_{40\text{tt}}$; 60/60, vekslende ett minutt på 110- og 90% av $W_{40\text{tt}}$ i 8 minutter; FLAT, åtte minutter på 100% av $W_{40\text{tt}}$.

Merknader: Alle intervalløktene gjennomføres som 5x8 min-intervaller med % av $W_{40\text{tt}}$ som gjennomsnittlig wattbelastning og 3 min pause mellom hvert drag.

2.3 Fysiologiske tester

Alle tester på sykkel ble gjennomført i lignende miljø; $T_1 = 17.8 \pm 1.6$ °C og 37 ± 10 % luftfuktighet, $T_2 = 15.4 \pm 3.0$ °C og 50 ± 12 % luftfuktighet med vifte etter eget ønske.

Testleder ga verbal oppmuntring på tester til utmattelse. Alle testene ble gjennomført på samme tid av døgnet ± 2 timer for å unngå påvirkninger av døgnrytmen. Væske- og matinntak før og underveis i pretest ble replikert til resterende testdager. Oksygenanalysatoren (Oxycon Pro, Erich Jaeger, Hoechberg, Tyskland), sykkelergetometeren (Lode Excalibur Sport, Lode B, V., Groningen, Nederland) og sykkelrullen (Tacx NEO 2T smart T2875, Garmin, Olathe, USA) deltakerne brukte på pretest ble replikert til resterende testdager.

2.4 Styrketest

Etter en standardisert oppvarming basert på opplevd anstrengelse (BORG, 1998) på spinnings sykkel (2 min 11 BORG \rightarrow 2 min 13 BORG \rightarrow 1 min 15 BORG \rightarrow 2 min 12 BORG) gjennomførte deltakerne en standardisert 10 repetisjons benpresstest programmert fra leverandør (Keiser AIR300 Leg Press, Keiser Corporation, Fresno, USA). Utgangsposisjon for testen var sittende, med femur vinkelrett mot underlaget. De individuelle seteposisjonene ble standardisert ved pretest og replikert til resterende testdager. Testen var estimert til å være omtrent 10 repetisjoner, hvor motstanden på den tiende repetisjonen enten var 249kg eller 279kg avhengig av kroppsvekt (Tabell 2). Motstanden på, og pauser mellom repetisjoner ble gradvis større for hver repetisjon frem til maksimal utmattelse var nådd. $Kraft_{maks}$ og $Effekt_{maks}$ ble kalkulert med kvadratisk polynomial regresjon basert på forholdet mellom kraft og effekt (Colyer et al., 2018).

Tabell 2 Testprotokoll for styrketest

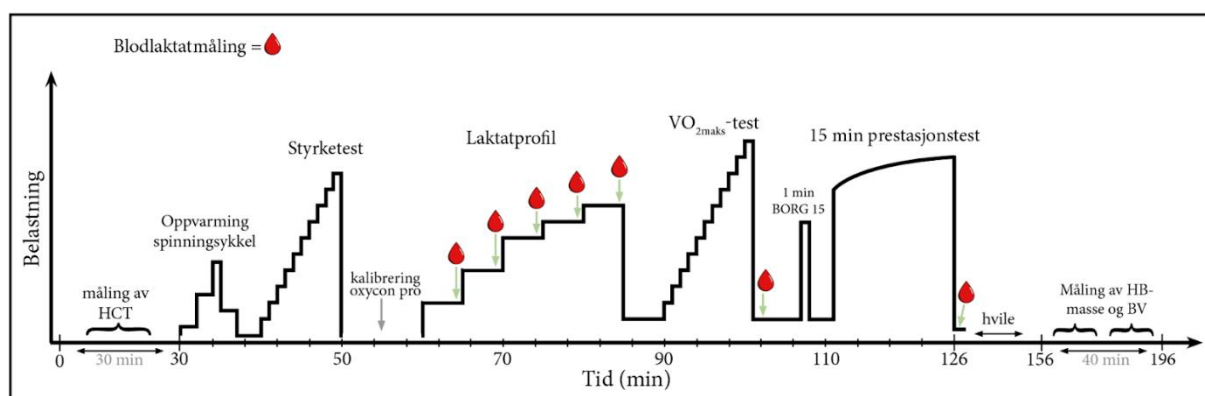
Repetisjon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kroppsvekt < 75 kg	41 kg	64 kg	87 kg	110 kg	133 kg	157 kg	180 kg	203 kg	226 kg	249 kg
Kroppsvekt \geq 75 kg	44 kg	70 kg	96 kg	122 kg	148 kg	175 kg	201 kg	227 kg	253 kg	279 kg

Merknader: kroppsvekten til deltakerne bestemte motstanden under repetisjonene som vist i tabellen.

2.5 Laktatprofil

Sykkeltestingen på T_1 ble gjennomført på LODE sykkelergetometer. Sittestillingen ble individuelt tilpasset på pretest og replikert til resterende testdager. Varigheten på belastningstrinnene var 5 min med en trinnvis økning på 50 W inntil $[BLa^-] \geq 2.0$ mmol·L⁻¹ ble registrert, deretter økte belastningen trinnvis med 25 W (Figur 3). Testen ble avsluttet når $[BLa^-] \geq 4.0$ mmol·L⁻¹ ble registrert. Første belastningstrinn var 175 W med selvestimert

terskelwatt > 325 W eller 125 W med terskelwatt < 325 W. Deltakernes belastningstrinn ved pretest ble replikert til resterende testdager, men tilpasset til å nå $4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ i $[\text{BLa}^-]$. Oksygenopptak (VO_2), ventilasjon (VE), pustefrekvens (BF), og respiratorisk utvekslingskvotient (RER) verdier ble målt mellom 2 og 4,5 min fra hvert belastningstrinn av Oxycon Pro (30 sek målinger) med miksekammer. Hjerterfrekvens (HF) og kadens (RPM) ble notert ned hvert 30 sekund. I dataanalysen blir respektive variabler kalkulert som gjennomsnittet av alle målinger for hvert belastningstrinn, med unntak av RER som ble kalkulert som gjennomsnittet av målinger mellom 3,5 - 4,5 min. RPM-verdiene ved pretest ble replikert til resterende testdager. Etter 4,5 min ut i hvert belastningstrinn oppga deltakerne en opplevd anstrengelsesverdi (BORG) og blodprøver ble tatt fra fingertuppene til deltakerne. Blodprøvene ble analysert for $[\text{BLa}^-]$ med Biosen (EKF Diagnostic GmbH, Barlebe, Tyskland). Gasskalibrering og volumkalibrering ble gjort før laktatprofilen for hver deltaker. Gasskalibrering ble gjort med en sertifisert kalibreringsgass med en gitt konsentrasjon. Turbinen i maskinen (Triple V, Erich Jaeger, Hoechberg, Tyskland) ble kalibrert med bruk av en 3 liter, 5530 serie, kalibreringspumpe (Hans Rudolph, Kansas City, USA). Samme system ble brukt for $\text{VO}_{2\text{maks}}$ -test og 15 min prestasjonstest. $W_{\text{laktatterskel}}$ ble kalkulert ut ifra sammenhengen mellom $[\text{BLa}^-]$ og wattbelastning ved bruk av lineær regresjon mellom den nærmeste wattbelastningen over og under $4.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ $[\text{BLa}^-]$. Utnyttingsgrad på $W_{\text{laktatterskel}}$ ble kalkulert som VO_2 på $W_{\text{laktatterskel}}$ i % av $\text{VO}_{2\text{maks}}$. GE kalkuleres med Peronnet og Massicotte's ligning (Peronnet & Massicotte, 1991) fra VO_2 og CO_2 målinger ved belastningstrinnene 175 W og 225 W.



Figur 3 Oversikt over Testdag 1

Forkortelser: HCT, hematocrit; laktatprofil, blodlaktatprofil (BLa^-); $\text{VO}_{2\text{maks}}$ -test, test av det maksimale relative oksygenopptaket; HB_{masse} , totale hemoglobinmasse; BV, blodvolum.
merknader: Belastning på Y-aksen henviser til de relevante målingsenhetene; Opplevd anstrengelse (BORG) på oppvarming og watt på laktatprofil, $\text{VO}_{2\text{maks}}$ -test og 15 min prestasjonstest..

2.6 VO₂_{maks}-test

Etter laktatprofilen, hadde deltakerne 5 min aktiv restitusjon før de gjennomførte en VO₂_{maks}-test. Startbelastningen var på 200 W ved $W_{\text{laktatterskel}} < 325 \text{ W}$ eller 250 W ved $W_{\text{laktatterskel}} > 325 \text{ W}$. Wattbelastningen økte med 25 W hvert minutt og økte frem til maksimal utmattelse ble oppnådd. Maksimal utmattelse ble definert som manglende evne til å opprettholde en $\text{RPM} \leq 60$. RPM gjennom testen var ellers valgfri. VO₂_{maks} ble kalkulert som gjennomsnittet av de to høyeste påfølgende VO₂-målingene (30 sek målinger). HF_{maks} ble kalkulert som høyeste 1 sek måling fra deltakernes egen sykkelcomputer. W_{maks} ble kalkulert som gjennomsnittlig wattbelastning fra det siste minuttet av testen. Deltakerne oppga en opplevd anstrengelses verdi (BORG) umiddelbart etter endt test. Blodprøver fra fingertuppene ble tatt 60 sekunder etter endt test for måling av [BLa⁻].

2.7 15 min prestasjonstest

Etter VO₂_{maks}-testen, hadde deltakerne 6 min aktiv restitusjon før en arbeidsperiode på ett minutt tilsvarende 15 i BORG-skala, etterfulgt av 3 min ytterligere aktiv restitusjon, før de gjennomførte en 15 min prestasjonstest. Startbelastningen ble bestemt basert på instruksene deltakerne fikk om å oppnå høyest mulig gjennomsnittswatt gjennom prestasjonstesten. RPM var valgfritt, og deltakerne kunne justere wattbelastning manuelt (hvert 30 sekund) med en ekstern kontrollenhet plassert ved siden av sykkelstyret på LODE sykkelergometer. Verbal oppmuntring ble gitt kontinuerlig underveis i testen for å nå maksimal utmattelse. VO₂, VE, BF, og RER verdier ble målt gjennom hele testen med Oxycon Pro (30 sek målinger). RPM og HF ble notert hvert 30 sekund. Deltakerne oppga en opplevd anstrengelsesverdi (BORG) umiddelbart etter endt test. Blodprøver fra fingertuppene ble tatt 60 sekunder etter endt test for måling av [BLa⁻]. Prestasjonen ble målt som gjennomsnittet av alle wattmålinger underveis i testen (W_{15tt}).

2.8 Hematologiske målinger

Etter 15 min prestasjonstesten, fikk deltakerne 30 min stillesittende pause før de gjennomførte målinger av HB_{masse}. Karbonmonoksid (CO) gjenpustings-metoden (Siebenmann et al., 2017) ble brukt til å måle HB_{masse}. Deltakerne lå flatt på ryggen med bena hevet i 15 min før tre blodprøver fra fingertuppene ble tatt og analysert for prosentandel karboksyhemoglobin (%HbCO) og [Hb] (ABL830 FLEX CO-OX analyser, Radiometer, Copenhagen, Danmark). Deretter pustet deltakerne gjennom et munnstykke i et lukket system (CO-Applikator, WGT

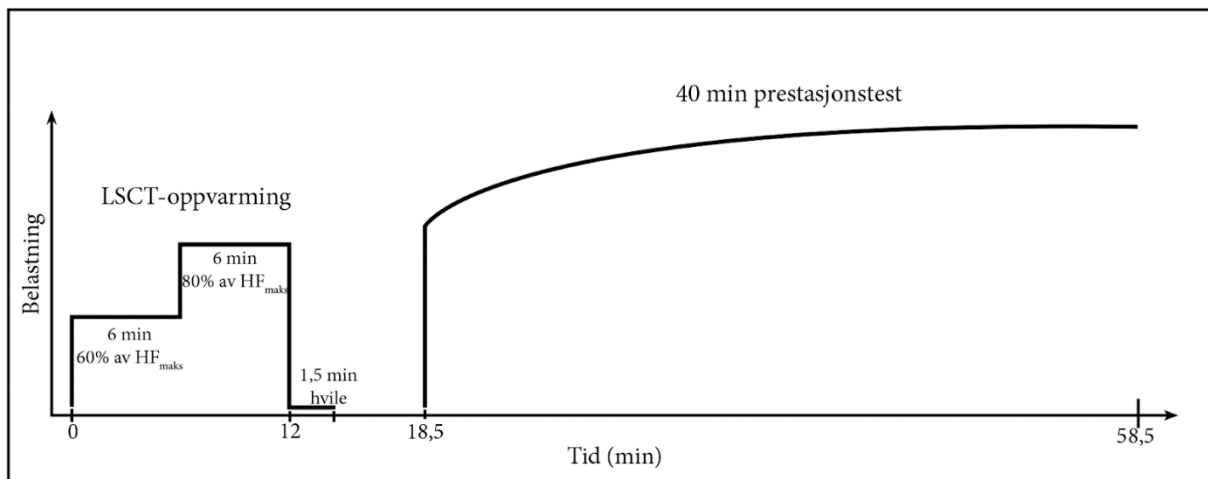
Elektronik CmbH & Co KG, Kolsass, Østerrike) i ett min før en dose på $1,5 \text{ ml (kg kroppsvekt)}^{-1}$ med 99,997% kjemisk ren CO (Carbon monoxide 100%, AGA, Oslo, Norge) ble tilført systemet. Deltakerne lå og pustet O₂-CO blandingen i ytterligere seks min. For å analysere gjenværende CO volum i systemet ble deltakerne instruert om å ekshalere maksimalt før munnstykket ble tatt ut (Dräger Pac 5500, Dräger INC., Houston, USA). Deltakerne lå så stille og pustet uten munnstykke i fire min før tre nye blodprøver fra fingertuppene ble tatt og analysert for %HbCO. Den absorberte CO-dosen og endringen i %HbCO ble brukt til å kalkulere total Hb_{masse}. Total Hb_{masse}, HCT og [Hb] ble brukt til å kalkulere RBCV, blodvolum og PV (Siebenmann et al., 2017). Hele CO gjenpustingsmetoden ble gjennomført to ganger, hvor de hematologiske variablene ble kalkulert som gjennomsnittet av begge målingene.

I begynnelsen av Testdag 1 (Figur 3) ble HCT målt med mikrohematokrit-metoden (Mondal & Lotfollahzadeh, 2022). Deltakerne drakk 300 ml vann og lå flatt på ryggen med bena hevet i ett min før det ble fylt tre 75mm kapillærrør med blod fra fingertuppene, som videre ble sentrifugert av en mikrosentrifuge (Heraeus PICO 17 Hematokritrotor, Thermo Electron LED GmbH, Osterode, Tyskland) på 13 500 RPM i 4 min. Disse tre blodprøvene ble analysert manuelt mot et HCT-kort hvor gjennomsnittet av de tre målingene ble brukt i dataanalysen. Videre ble det tatt ytterligere tre blodprøver, analysert av (ABL800 FLEX analysator, Radiometer, Copenhagen, Danmark), for bestemmelse av [Hb] som ble brukt til utregning av RBCV, blodvolum og PV.

2.9 40 min prestasjonstest

På den påfølgende dagen (T2) ble det gjennomført en 40 min prestasjonstest på egne sykler med sykkelruller (Figur 4). Oppvarmingen bestod av Lamberts and Lambert Submaximal Cycle test (LSCT) som innebar 6 min sykling på 60% av HF_{maks} (definert fra VO_{2maks}-test på pretest) og 6 min sykling på 80% av HF_{maks} etterfulgt av 1,5 min hvile hvor deltakerne ble instruert om å sitte helt stille uten å drikke, sykle eller prate (Lamberts et al. 2009d). Under LSCT ble målinger av VO₂, VE, BF og RER tatt med Oxycon Pro (30 sek målinger). Startbelastningen ble bestemt basert på instruksene deltakerne fikk om å oppnå høyest mulig gjennomsnittswatt gjennom prestasjonstesten.. RPM var valgfritt og deltakerne kunne selv styre wattbelastningen manuelt via en testleders smarttelefon med Tacx-appen sin “Power output”-funksjon. Verbal oppmuntring ble gitt kontinuerlig underveis i testen for å nå maksimal utmattelse. Sykkelcomputere (Garmin Edge 530, Olathe, USA) ble synkronisert

med sykkelrullene for registrering av 3 sek wattmålinger og 1 sek HF målinger. Blodprøver ble tatt fra deltakernes fingertupper ved 5, 10, 18, 26, 34 og 41 min for analysering av [BLa⁻] med Biosen. Prestasjonen ble målt som gjennomsnittet av alle wattmålinger underveis i testen. Den gjennomsnittlige wattbelastningen fra 40 min prestasjonstesten (W_{40tt}) blir videre brukt som referanse til den påfølgende 3-ukers perioden med HIT-økter.



Figur 4 Oversikt over Testdag 2

Forkortelser: LSCT, Lamberts and Lamberts Submaximal Cycling Test som oppvarming

Merknader: Belastning på Y-aksen henviser til de relevante målingsenheter; HF_{maks} , maksimal hjerterefrekvens på oppvarming, og watt på 40 min prestasjonstest.

2.10 HIT-økter

Før alle HIT-økterne gjennomførte deltakerne LSCT uten VO_2 -målinger som oppvarming.

Alle HIT-økterne (5x8 min intervaller) hadde identisk gjennomsnittlig wattbelastning (100% av W_{40tt} fra den foregående 40 min prestasjonstesten), men distribueringen av

wattbelastningen innad i arbeidsintervallene var forskjellig for de tre protokollene (Figur 5).

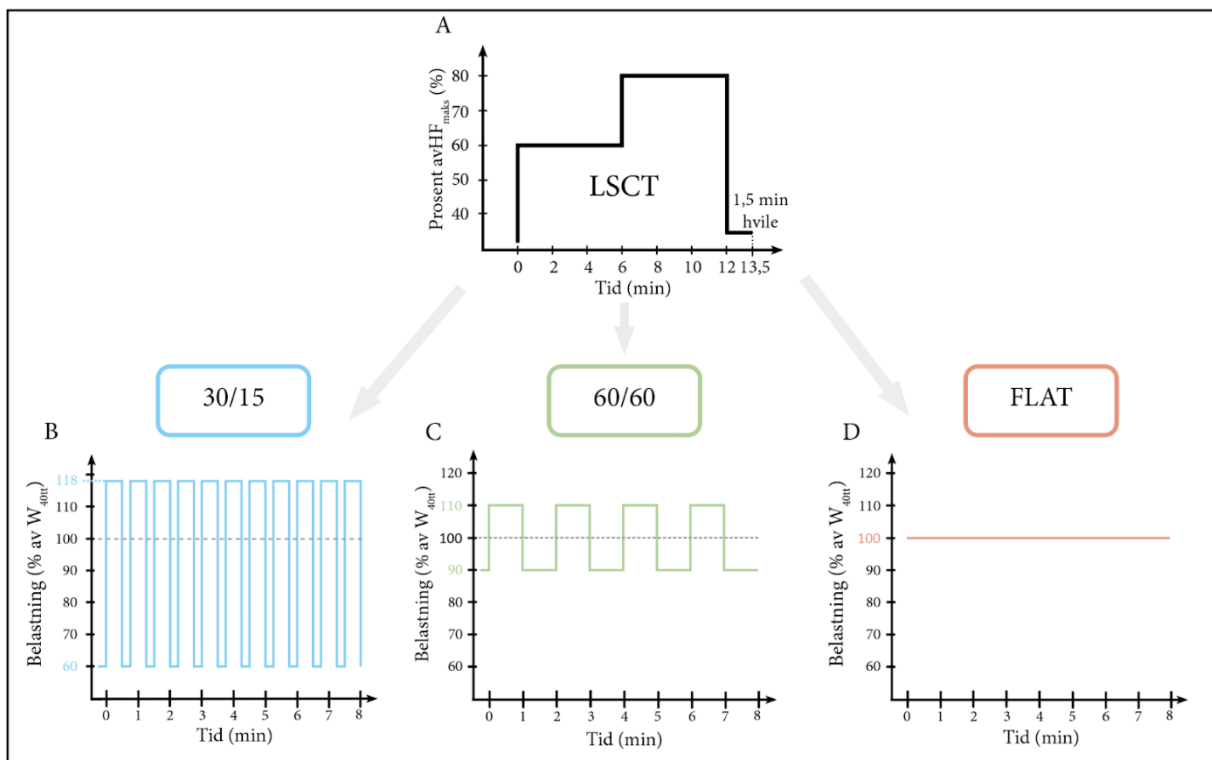
Hver 8-min arbeidsintervall i 30/15 protokollen besto av 11x30 sekunders arbeidsperioder på 118% av W_{40tt} skilt av 15 sekunders aktiv restitusjon på 60% av W_{40tt} . Hver 8-min

arbeidsintervall i 60/60 protokollen besto av 8x60 sekunders vekslende arbeidsperioder på

hhv. 110- og 90% av W_{40tt} . Hver 8-min arbeidsintervall i FLAT protokollen besto av 8 min

sammenhengende sykling på 100% av W_{40tt} . Pausene mellom hver arbeidsintervall for alle

protokollene var 3 min aktiv sykling på 30% av W_{40tt} for å sikre tilstrekkelig restitusjon samt tid til å hydrere.



Figur 5 Oversikt over oppvarming og de tre ulike HIT-øktene

Forkortelser: (A) LSCT, Lambert and Lamberts Submaximal Cycling Test; HF_{maks}, maksimal hjerterefrekvens; W_{40t}, gjennomsnittlig effektutvikling på 40 min prestasjonstest; (B) 30/15, elleve 30-sekunders arbeidsperioder på 118% av skilt av 15 sekunders aktiv restitusjon på 60% av W_{40t}; (C) 60/60, vekslende ett minutt på 110- og 90% av W_{40t} i 8 minutter; (D) FLAT, åtte minutter på 100% av W_{40t}. Merknader: Grå stiplet linje er gjennomsnittsbeltasting(W) for hvert intervalldrag (100% av W_{40t}). Alle økttypene gjennomføres som 5x8 min-intervaller med 3 min pause mellom hvert drag

Alle HIT-økter ble gjennomført på egen sykkel koblet til sykkelrullene deltakerne brukte ved pretest. Alle intervall-protokollene med tilhørende intensitet ble lagret og styrt automatisk via tilhørende Tacx app på smarttelefonen. RPM underveis i HIT-økter var valgfritt. Opplevd anstrengelse (BORG) samt blodprøver fra fingertuppene for måling av [BLa-] ble oppgitt/tatt direkte etter endt arbeidsintervall. Opplevd anstrengelse (BORG_{snitt}) og blodlaktatkonsentrasjon (Laktat_{snitt}) fra HIT-økter ble kalkulert som gjennomsnittet av alle respektive målinger. Sykkelcomputere ble synkronisert med sykkelrullene for registrering av 3 sek wattmålinger og 1 sek HF målinger. VO₂, VE, BF, og RER verdier ble målt underveis i alle arbeidsintervallene med Oxycon Pro (10 sek målinger). Oxycon Pro ble kalibrert (som forklart under Laktatprofil) før hver deltaker begynte første arbeidsintervall. VO_{2snitt} ble kalkulert som gjennomsnittet av alle VO₂-målinger fra de siste 6 minuttene av alle arbeidsintervaller gjennom hele intervansjonen i % av VO_{2maks} med foregående VO_{2maks}-test som referanse. Gjennomsnittet fra de siste 6 minuttene ble brukt for å mer presist reflektere det stabile oksygenopptaket deltakerne trente på under HIT-øktene.

2.11 Dataanalyse

All datainnsamling ble gjort i Excel (versjon 2203), videre databearbeiding og statistiske analyser ble gjort i R (versjon 4.1.1). Ved tap av VO_2 data under HIT-økter ble samme tidsperiode på forrige intervalldrag brukt som estimat. Totalt ble ~3.8% av VO_{2snitt} -dataen estimert. For å mer nøyaktig reflektere deltakernes prestasjonsstatus ble en prestasjonsindeks regnet ut. Indeksen ble kalkulert som gjennomsnittet av de viktigste prestasjonsindikatorene ($W_{laktatterskel}$, W_{maks} og W_{15tt} målt i $W \cdot kg^{-1}$) etter normalisering (x_i /den høyeste verdien for prestasjonsindikatoren, hvor x_i er en individuell verdi fra en av prestasjonsindikator). Treningsimpuls (TRIMP) ble brukt til å kalkulere den totale treningsbelastningen fra 9-ukers treningsperioden. Basert på puls- eller wattmålinger ble summen av all treningstid (min) i intensitetssonene (sone 1-3) multiplisert med en faktor på 1-3 respektivt (Banister et al, 1999). Intensitetsskalaen 1-3 er en komprimert utgave av Olympiatoppens intensitetskala 1-8 (Olympiatoppen, 2021) hvor sone 1-2 tilsvarte sone 1, sone 3 tilsvarte sone 2 og sone 4-5 tilsvarte sone 3.

For å undersøke reliabiliteten tilknyttet VO_{2snitt} -dataen ble en blandet effekt regresjonsmodell med fast effekt (deltakere) og tilfeldig effekt (HIT-økter) brukt for kalkulering av intraklasse-korrelasjon (ICC). For å estimere sammenhengen mellom VO_{2snitt} og prestasjonsindeks, VO_{2maks} , W_{maks} , $W_{laktatterskel}$, W_{15tt} , W_{40tt} , blodvolum og HB_{masse} ble en multipl lineær regresjonsmodell benyttet med absolutt endring fra pretest til posttest som avhengig variabel. VO_{2snitt} , verdien ved pretest og endring i kroppsvekt (Δ kroppsvekt) ble spesifisert som uavhengige variabler. En multipl lineær regresjonsmodell ble i tillegg brukt til å estimere sammenhengen mellom VO_{2snitt} og absolutt endring i $W_{laktatterskel}$ (% av VO_{2maks}) og GE på 175- og 225 W, med absolutt endring som avhengig variabel. VO_{2snitt} og verdien ved pretest ble spesifisert som uavhengige variabler. Grafer med residualer og predikerte verdier ble visuelt inspisert for antagelsene om homoskedastisitet og normalfordeling av residualer. Antagelsen om multikollinearitet ble undersøkt med utregning av en variansinflasjonsfaktor, hvor verdier < 5 ble beholdt i modellene (Fox & Monette, 1992). Modellene ble undersøkt for innflytelsesrike verdier ved visuell inspeksjon av grafer med sammenhengen mellom residualer og innflytelse. Sammenhengen mellom VO_{2snitt} og belastningsindikatorene Laktat_{snitt} og BORG_{snitt}, ble estimert med en enkel lineær regresjonsmodell med respektive belastningsindikatorer som avhengig variabel og VO_{2snitt} som uavhengig variabel. En enkel lineær regresjonsmodell ble også brukt til å estimere sammenhengen mellom VO_{2snitt} og utnyttingsgrad av VO_{2maks} på $W_{laktatterskel}$ ved pretest. Antagelsene for de enkle lineære

regresjonsmodellene ble undersøkt på samme måte som for den multiple lineære regresjonsmodellen foruten antagelsen om multikollinearitet. Endringer i fysiologiske- og prestasjonsvariabler fra pre- til posttest ble testet med en parret t-test. Antagelsen om normalfordeling ble testet med Shapiro-Wilks test og visuelt inspisert med Q-Q (kvantil-kvantil) grafer, ved uoverensstemmelser ble Wilcox-test benyttet.

All beskrivende data er presentert som gjennomsnitt \pm standardavvik om ikke annet er spesifisert. Nivået til statistisk signifikans ble satt til $\alpha = 0.05$.

3.0 Resultater

VO_{2snitt}-dataen varierte mellom deltakere fra 77.1% - 93.7% (Tabell 3). Reliabiliteten tilknyttet VO_{2snitt}-dataen var moderat stor ICC = 0.62, CI 95% [0.47, 0.79] (Koo & Li, 2016) som indikerer at 62% av den totale variasjonen skyldes forskjeller mellom deltakerne. Overordnet viser endringsdata fra treningsintervensjonen (Tabell 4) en generell forbedring i fysiologiske- og prestasjonsvariabler fra pre- til posttest. Dette gir grunnlag for videre testing av effekten VO_{2snitt} har på endring i fysiologiske- og prestasjonsvariabler.

Tabell 3 Treningsdata fra 9-ukers treningsintervensjonen

	N	GJ. Snitt \pm SD	Min	Maks
HIT-økter				
VO _{2snitt} (% av VO _{2maks})	19	85.9 \pm 4.3	77.1	93.7
HF _{snitt} (% av HF _{maks})	19	89.5 \pm 1.3	86	91
Laktat _{snitt} (mmol·L ⁻¹)	19	5.8 \pm 1.4	3.0	8.5
BORG _{snitt} (6-20)	19	16.2 \pm 1.0	14.2	18.1
All trening				
Total trening (timer)	19	78.3 \pm 25.0	45.0	129.0
Total utholdenhetstrening (timer)	19	74.7 \pm 24.7	32.9	129.0
Total styrketrening (timer)	19	3.7 \pm 4.7	0	15.9
Utholdenhetstrening				
Antall økter	19	54.3 \pm 14.1	29	95
Andel sykling (%)	19	84.7 \pm 8.3	53.3	93.4
Andel løp (%)	19	7.1 \pm 3.6	0	16.1
Andel ski (%)	19	0.1 \pm 0.4	0	1.8
Zone 1 (timer)	18	50.4 \pm 22.7	16.5	98.0
Zone 2 (timer)	18	9.9 \pm 3.1	2.0	15.2
Zone 3 (timer)	18	16.7 \pm 2.6	12.0	29.4
TRIMP (vv)	18	7218 \pm 1511	4709	10680
Styrketrening				
Antall økter	19	3.7 \pm 4.8	0	16
Andel maksimal styrketrening (%)	19	15.6 \pm 33	0	100
Andel generell styrketrening (%)	19	47.6 \pm 48.3	0	100

Forkortelser: HIT, høyintensitetstrening; VO_{2snitt}, gjennomsnittlig VO₂ fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; VO_{2maks}, det maksimale relative oksygenopptaket; HF_{snitt}, gjennomsnittlig hjerterefrekvens fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; HF_{maks}, den maksimale hjerterefrekvensen; Laktat_{snitt}, gjennomsnittlig blodlaktatkonsentrasjon fra alle intervalldrag og økter; BORG_{snitt}, gjennomsnittlig opplevd anstrengelses verdi (BORG 6-20) fra alle intervalldrag og økter; TRIMP, total treningsimpuls av utholdenhetstrening under intervensjonen; vv, vilkårlig verdi; N, antall observasjoner. Merknad: en deltaker ble ekskludert i utregning av TRIMP ettersom han mislyktes i å loggføre treningstid i intensitetssoner under intervensjonen

Tabell 4 Fysiologiske- og prestasjonsvariabler før (pre) og etter (post) 9-ukers treningsintervensjon.

	Pretest	Posttest	Absolutt endring
	GJ. Snitt \pm SD	GJ. Snitt \pm SD	GJ. Snitt [CI 95%]
Kroppsvekt (kg)	73.9 \pm 7.9	73.8 \pm 7.7	-0.1 [-0.8, 0.7]
VO _{2maks} (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	68.7 \pm 5.4	72.4 \pm 4.9	3.7 [2.3, 5.2]*
W _{laktatterskel} (% av VO _{2maks})	82.9 \pm 5.4	80.8 \pm 5.2	-2.1 [-3.9, -0.2]*
GE 175 W (%)	18.8 \pm 0.8	19.3 \pm 0.9	0.5 [0.1, 0.9]*
GE 225 W (%)	19.7 \pm 0.7	20.2 \pm 0.7	0.5 [0.2, 0.8]*
W _{maks} (W·kg ⁻¹)	5.9 \pm 0.5	6.3 \pm 0.5	0.4 [0.3, 0.5]*
W _{laktatterskel} (W·kg ⁻¹)	4.2 \pm 0.4	4.4 \pm 0.6	0.2 [0.1, 0.3]*
W _{15tt} (W·kg ⁻¹)	4.4 \pm 0.5	4.6 \pm 0.6	0.2 [0.1, 0.3]*
W _{40tt} (W·kg ⁻¹)	3.9 \pm 0.4	4.1 \pm 0.4	0.2 [0.1, 0.3]*
Prestasjonsindeks (vv)	0.77 \pm 0.07	0.81 \pm 0.09	0.04 [0.03, 0.06]*
Hematologi			
Blodvolum (mL·kg ⁻¹)	85.9 \pm 6.6	86.6 \pm 6.4	0.7 [-1.4, 2.8]
HB _{masse} (g·kg ⁻¹)	13.3 \pm 0.9	13.3 \pm 1.1	0.0 [-0.2, 0.2]
Muskelstyrke			
Kraft _{maks} (N)	2191 \pm 384	2121 \pm 426	-70 [-140, 1]
Effekt _{maks} (W)	1361 \pm 290	1292 \pm 287	-69 [-110, 29]*

Forkortelser: VO_{2maks}, det maksimale oksygenopptaket; W_{laktatterskel}, effektutvikling på 4 mmol·L⁻¹ [Bla];

GE, mekanisk effektivitet; W_{maks}, maksimal aerob effekt; W_{15tt}, gjennomsnittlig effektutvikling på 15 min prestasjonstest;

W_{40tt}, gjennomsnittlig effektutvikling på 40 min prestasjonstest; HB_{masse}, relativ hemoglobinmasse;

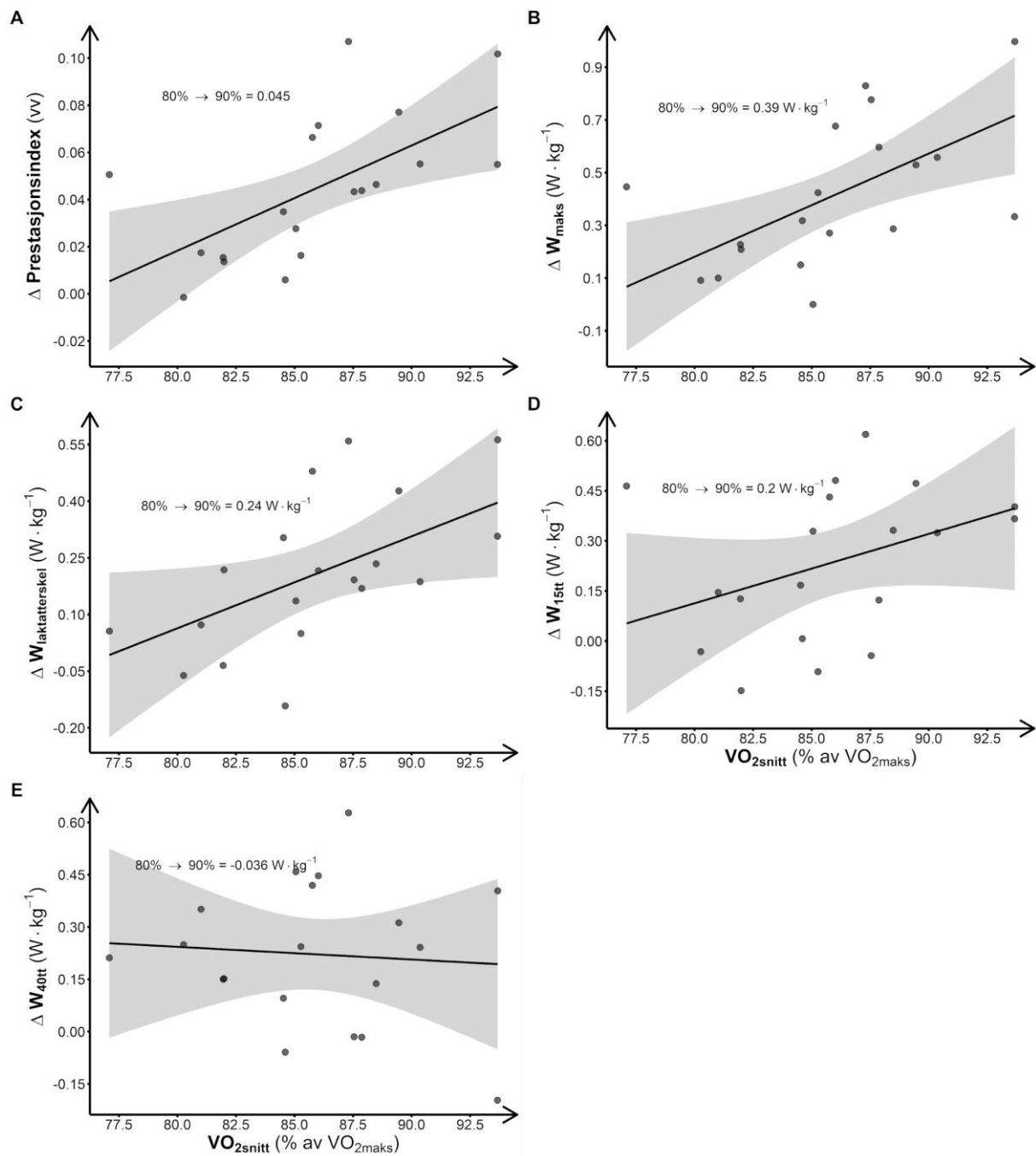
Kraft_{maks}, den teoretiske maksimale kraftutviklingen fra beinpress-test; Effekt_{maks}, den teoretiske maksimale effektutviklingen fra beinpress-test; vv, vilkårlig verdi; N, newton; W, watt.

Merknader: * indikerer en signifikant endring fra pre- til posttest.

3.1 Effekten av VO_{2snitt} på utvikling i prestasjonsvariabler

Vi så en gjennomsnittlig forbedring fra pre- til posttest i prestasjonsindeks (Δ prestasjonsindeks), W_{maks} (Δ W_{maks}) og W_{laktatterskel} (Δ W_{laktatterskel}) på hhv. 0.04 vv [0.03, 0.06], 0.4 W·kg⁻¹ [0.3, 0.5] og 0.2 W·kg⁻¹ [0.1, 0.3] (Tabell 4). Vi så også en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og Δ prestasjonsindeks, Δ W_{maks} og Δ W_{laktatterskel} (Tabell 5 og Figur 6). Dette ga en estimert skår for Δ prestasjonsindeks på 0.0045 vv [0.00, 0.01], Δ W_{maks} på 0.039 W·kg⁻¹ [0.02, 0.06] og Δ W_{laktatterskel} på 0.024 W·kg⁻¹ [0.00, 0.05] for hver prosent økning i VO_{2snitt}. Disse estimerte skårene gir et utgangspunkt til å predikere treningseffekten av VO_{2snitt}. Dette indikerer for eksempel at en økning i VO_{2snitt} fra 80% til 90% gir en ytterligere estimert forbedring i prestasjonsindeks, W_{maks} og W_{laktatterskel} på hhv. 0.045 vv, 0.39 W·kg⁻¹ og 0.24 W·kg⁻¹.

Vi så en gjennomsnittlig forbedring fra pre- til posttest i W_{15tt} (Δ W_{15tt}) på 0.2 W·kg⁻¹ [0.1, 0.3] og W_{40tt} (Δ W_{40tt}) på 0.2 W·kg⁻¹ [0.1, 0.3] (Tabell 4). Vi fant videre ingen øvrige sammenhenger mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og Δ W_{15tt} eller Δ W_{40tt} (Tabell 5 og Figur 6), med en estimert skår på hhv. 0.02 W·kg⁻¹ [-0.01, 0.05] og -0.004 W·kg⁻¹ [-0.03, 0.02] for hver prosent økning i VO_{2snitt}.



Figur 6 Sammenhengen mellom gjennomsnittlig oksygenopptak (VO_{2snitt}) på intervalløkter og (A) utvikling i prestasjonsindeks. (B) utvikling i den maksimale aerobe effekten (W_{maks}). (C) utvikling i effektutvikling på 4 mmol·L⁻¹ ($W_{laktatterskel}$). (D) og (E) utvikling i 15- og 40 min prestasjonstest (W_{15tt} og W_{40tt} respektivt)

Forkortelser: VO_{2maks} , det maksimale relative oksygenopptaket; vv, vilkårlig verdi.

Merknader: 80% → 90% indikerer forskjellen mellom predikert verdi for VO_{2snitt} på 80% til 90%. Linjen indikerer predikert verdi, grå sone indikerer linjens konfidensintervall og punkter indikerer individuelle datapunkter.

Tabell 5 Multippel lineære regresjonsanalyser av sammenhengen mellom utvikling i prestasjonsvariabler og $VO_{2\text{snitt}}$ på intervalløkter.

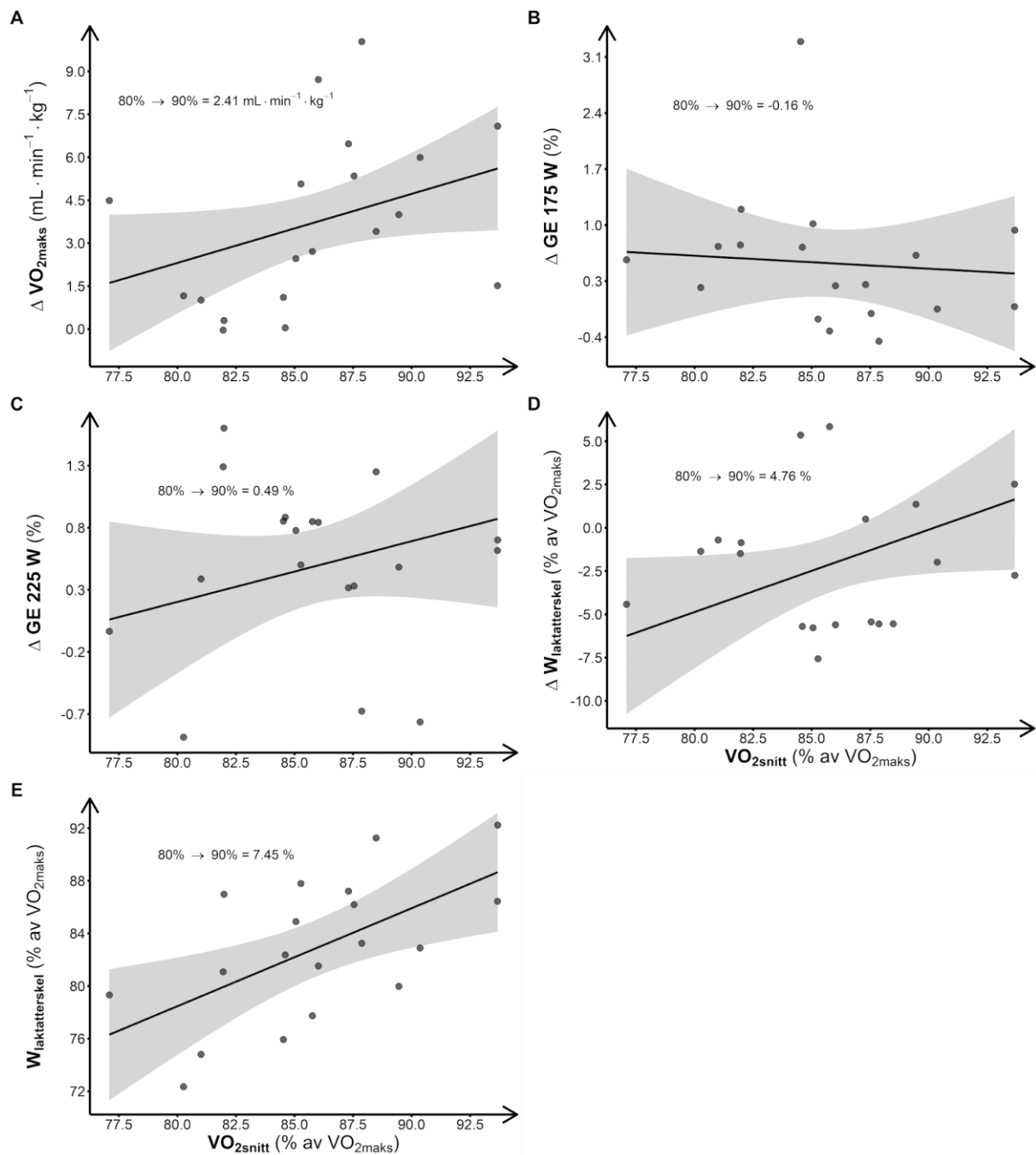
	Avhengige variabler				
	Δ Prestasjonsindeks	ΔW_{maks}	$\Delta W_{\text{Laktatterskel}}$	$\Delta W_{15\text{tt}}$	$\Delta W_{40\text{tt}}$
Skjæringspunkt	-0.300*	-1.891	-2.159*	-1.204	0.786
	(-0.514, -0.086)	(-3.855, 0.074)	(-3.712, -0.606)	(-3.089, 0.681)	(-1.135, 2.707)
	p = 0.015	p = 0.079	p = 0.016	p = 0.230	p = 0.436
$VO_{2\text{snitt}}$	0.004*	0.039*	0.024*	0.021	-0.004
	(0.002, 0.007)	(0.016, 0.062)	(0.003, 0.045)	(-0.006, 0.047)	(-0.030, 0.023)
	p = 0.009	p = 0.005	p = 0.040	p = 0.145	p = 0.791
Pretest	-0.051	-0.180	0.066	-0.081	-0.066
	(-0.218, 0.116)	(-0.379, 0.019)	(-0.146, 0.278)	(-0.319, 0.158)	(-0.350, 0.217)
	p = 0.557	p = 0.097	p = 0.550	p = 0.518	p = 0.654
Δ kroppsvekt	-0.008*	-0.066	-0.015	-0.066	-0.050
	(-0.015, -0.001)	(-0.128, -0.004)	(-0.066, 0.036)	(-0.127, -0.005)	(-0.113, 0.013)
	p = 0.043	p = 0.053	p = 0.582	p = 0.051	p = 0.139
N	19	19	19	19	19
R ²	0.526	0.533	0.408	0.329	0.155
Justert R ²	0.432	0.440	0.290	0.195	-0.014
Residual Standardfeil (df=15)	0.023	0.205	0.168	0.203	0.208
F Statistikk (df = 3; 15)	5.558*	5.709*	3.447*	2.455	0.917

Merknad: Prestasjonsvariablene er kalkulert som relativ watt ($W \cdot kg^{-1}$), resultatet viser estimatet for hver enhet økning i uavhengig variabel, (95% CI) og p-verdi, Δ indikerer endring fra pre- til posttest for respektiv variabel, * indikerer signifikant sammenheng $p < 0.05$.

Forkortelser: $W_{\text{laktatterskel}}$, effektutvikling på 4 mmol·L⁻¹ [Bla⁻]; W_{maks} , maksimal aerob effekt; $W_{15\text{tt}}$, gjennomsnittlig effektutvikling på 15 min prestasjonstest; $W_{40\text{tt}}$, gjennomsnittlig effektutvikling på 40 min prestasjonstest; $VO_{2\text{snitt}}$, gjennomsnittlig VO_2 fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; N, antall observasjoner; R², bestemmelseskoeffisient; df, frihetsgrader.

3.2 Effekten av $VO_{2\text{snitt}}$ på utvikling i fysiologiske variabler

Vi så en gjennomsnittlig forbedring i $VO_{2\text{maks}}$ ($\Delta VO_{2\text{maks}}$), GE 175 W (Δ GE 175 W) og GE 225 W (Δ GE 225 W) på hhv 3.7 mL·min⁻¹·kg⁻¹ [2.3, 5.2], 0.5 % [0.1, 0.9] og 0.5 % [0.2, 0.8] (Tabell 4) fra pre- til posttest. Vi så derimot en gjennomsnittlig nedgang i utnyttingsgrad av $VO_{2\text{maks}}$ på $W_{\text{laktatterskel}}$ ($\Delta W_{\text{laktatterskel}}$ (% av $VO_{2\text{maks}}$)) på -2.1 % [-3.9, -0.2] (Tabell 4) fra pre- til posttest. Videre fant vi tendenser til en positiv sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og $\Delta VO_{2\text{maks}}$ og $\Delta W_{\text{laktatterskel}}$ (% av $VO_{2\text{maks}}$) med en estimert skår på hhv. 0.241 mL·min⁻¹·kg⁻¹ [0.02, 0.47] og 0.476 % [0.034, 0.191] for hver prosent økning i $VO_{2\text{snitt}}$ (Tabell 6 og Figur 7). Vi fant ingen sammenhenger mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og Δ GE 175 W eller Δ GE 225 W med en estimert skår på hhv. -0.016 % [-0.117, 0.085] og 0.049 % [-0.028, 0.126] for hver prosent økning i $VO_{2\text{snitt}}$. Det var derimot en positiv sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og $W_{\text{laktatterskel}}$ (% av $VO_{2\text{maks}}$) ved pretest med en estimert skår på 0.745 % [0.271, 1.219] for hver prosent økning i $VO_{2\text{snitt}}$ (Tabell 6 og Figur 7).



Figur 7 Sammenhengen mellom gjennomsnittlig oksygenopptak (VO_{2snitt}) på HIT-øktene og (A) utvikling i det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks}), (B) og (C) utvikling i mekanisk effektivitet (GE) på 175- og 225 watt (W) respektivt, (D) utvikling i utnyttingsgrad av VO_{2maks} ved effektutvikling på 4 mmol·L⁻¹ ($W_{laktatterskel}$), (E) utnyttingsgrad av VO_{2maks} ved $W_{laktatterskel}$ på pretest.

Merknader: 80% → 90% indikerer forskjellen mellom predikert verdi for VO_{2snitt} på 80% til 90%. Linjen indikerer predikert verdi, grå sone indikerer linjens konfidensintervall og punkter indikerer individuelle datapunkter.

Tabell 6 Multippel- og enkel lineær regresjonsmodell av sammenhengen mellom fysiologiske variabler og $VO_{2\text{snitt}}$ under intervalløkter

	Avhengige variabler				
	$\Delta VO_{2\text{maks}}$	ΔGE 175 W	ΔGE 225 W	$\Delta W_{\text{laktatterskel}}$ (% av $VO_{2\text{maks}}$)	$W_{\text{laktatterskel}}$ (% av $VO_{2\text{maks}}$)
Skjæringspunkt	-0.763 (-24.138, 22.611) $p = 0.950$	7.876 (-2.399, 18.151) $p = 0.154$	7.641 (-0.527, 15.809) $p = 0.086$	0.880 (-30.348, 32.109) $p = 0.957$	18.896 (-21.875, 59.667) $p = 0.377$
$VO_{2\text{snitt}}$	0.241 (0.017, 0.466) p = 0.053	-0.016 (-0.117, 0.085) p = 0.758	0.049 (-0.028, 0.126) p = 0.230	0.476 (0.034, 0.919) p = 0.052	0.745* (0.271, 1.219) p = 0.007
Pretest	-0.237* (-0.417, -0.057) $p = 0.021$	-0.318 (-0.878, 0.242) $p = 0.284$	-0.577* (-1.047, -0.107) $p = 0.029$	-0.529* (-0.885, -0.174) $p = 0.011$	
Δ Kroppsvekt	-0.956* (-1.584, -0.328) $p = 0.010$				
N	19	18	19	19	19
R^2	0.594	0.120	0.266	0.353	0.358
Justert R^2	0.513	0.002	0.174	0.272	0.320
Residual Standardfeil	2.092 (df = 15)	0.842 (df = 15)	0.618 (df = 16)	3.323 (df = 16)	4.443 (df = 17)
F Statistikk	7.310* (df = 3; 15)	1.019 (df = 2; 15)	2.893 (df = 2; 16)	4.356* (df = 2; 16)	9.475* (df = 1; 17)
Merknader:	Resultatet viser estimatet for hver enhet økning i uavhengig variabel, (95% CI) og p-verdi, Δ indikerer endring fra pre- til posttest for respektiv variabel, * indikerer signifikant sammenheng $p < 0.05$.				
Forkortelser:	$VO_{2\text{maks}}$, det maksimale relative oksygenopptaket; $VO_{2\text{snitt}}$, gjennomsnittlig VO_2 fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; GE, mekanisk effektivitet; W, watt; $W_{\text{laktatterskel}}$, effektutvikling på 4 mmol·L ⁻¹ [Bla ⁻]; N, antall observasjoner; R^2 , bestemmelseskoeffisient; df, frihetsgrader.				

3.3 Effekten av $VO_{2\text{snitt}}$ på utvikling i hematologiske variabler

Vi så ingen utvikling fra pre- til posttest for verken blodvolum (Δ blodvolum) på 0.2 mL·kg⁻¹ [-2.6, 2.1] eller HB_{masse} (ΔHB_{masse}) på 0.1 g·kg⁻¹ [-0.3, 0.2] (Tabell 4). Vi fant heller ingen sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og Δ blodvolum eller ΔHB_{masse} , med en estimert skår på hhv 0.245 mL·kg⁻¹ [-0.254, 0.744] og -0.001 g·kg⁻¹ [-0.059, 0.056] for hver prosent økning i $VO_{2\text{snitt}}$ (Tabell 7). Dette indikerer at verken treningsintervensjonen eller forskjeller i $VO_{2\text{snitt}}$ påvirket de hematologiske variablene i nevneverdig grad.

Tabell 7 Multippel lineær regresjonsmodell av sammenhengen mellom hematologiske variabler og $VO_{2\text{snitt}}$ under intervalløkter

	Avhengige variabler	
	Δ HBmasse	Δ Blodvolum
Skjæringspunkt	-4.949 (-10.722, 0.823) p = 0.114	-10.446 (-52.429, 31.536) p = 0.633
$VO_{2\text{snitt}}$	-0.001 (-0.059, 0.056) p = 0.961	0.245 (-0.254, 0.744) p = 0.354
Pretest	0.164 (-0.065, 0.392) p = 0.184	-0.235 (-0.500, 0.030) p = 0.106
Δ kroppsvekt	-0.078 (-0.226, 0.069) p = 0.319	-0.993 (-2.273, 0.287) p = 0.153
N	17	17
R^2	0.234	0.385
Justert R^2	0.057	0.243
Residual Standardfeil (df = 15)	0.408	3.561
F Statistikk (df = 3; 15)	1.323	2.714*
Merknader:	De fysiologiske variablene er kalkulert som relative tall i henhold til kroppsvekt, resultatet viser estimatet for hver enhet økning i uavhengig variabel, (95% CI) og p-verdi, Δ indikerer endring fra pre- til posttest for respektiv variabel. * indikerer signifikant sammenheng $p < 0.05$, to deltakere ble fjernet fra hematologiske målinger grunnet feil under datainnsamlingen.	
Forkortelser:	$VO_{2\text{maks}}$, det maksimale relative oksygenopptaket; $VO_{2\text{snitt}}$, gjennomsnittlig VO_2 fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; HB_{masse} , relativ hemoglobinmasse; N, antall observasjoner; R^2 , bestemmelseskoeffisient; df, frihetsgrader.	

3.4 Sammenhengen mellom $VO_{2\text{snitt}}$ og andre belastningsindikatorer

Vi så ingen sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ og Laktat_{snitt} HIT-økter ($3.0 - 8.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) med en estimert skår på $-0.003 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ $[-0.20, 0.16]$ eller BORG_{snitt} ($14.2 - 18.1$) med en estimert skår på 0.013 $[-0.1, 0.1]$ for hver prosent økning i $VO_{2\text{snitt}}$ (Tabell 3 og Tabell 8). Dette indikerer at et høyere oksygenopptak under HIT-øktene ikke var assosiert med en høyere opplevd anstrengelse (BORG) eller $[BLa^-]$.

Tabell 8 Enkel lineær regresjonsanalyse av sammenhengen mellom belastningsvariabler (Laktat og BORG) og $VO_{2\text{snitt}}$ under intervalløkter

	Avhengige variabler	
	Laktat _{snitt}	BORG _{snitt}
Skjæringspunkt	6.09 (-7.5, 19.7) p = 0.394	12.976* (3.9, 22.0) p = 0.013
$VO_{2\text{snitt}}$	-0.003 (-0.2, 0.16) p = 0.970	0.037 (-0.1, 0.1) p = 0.495
N	19	19
R ²	0.0001	0.028
Justert R ²	-0.059	-0.029
Residual standardfeil (df = 17)	1.484	0.986
F Statistikk (df = 1; 17)	0.001	0.487
Merknader:	Resultatet viser estimatet for hver enhet økning i uavhengig variabel, (95% CI) og p-verdi, * indikerer signifikant sammenheng p<0.05.	
Forkortelser:	$VO_{2\text{snitt}}$, gjennomsnittlig VO_2 fra de siste 6 minuttene av alle intervalldrag og økter; Laktat _{snitt} , gjennomsnittlig blodlaktatkonsentrasjon fra alle intervalldrag og økter; BORG _{snitt} , gjennomsnittlig opplevd anstrengelses verdi (BORG 6-20) fra alle intervalldrag og økter; N, antall observasjoner; R ² , bestemmelseskoeffisient; df, frihetsgrader.	

4.0 Diskusjon

Hovedfunnene i denne studien var at det ble observert en positiv sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og forbedring i prestasjonsindeks, W_{maks} , $W_{\text{laktatterskel}}$. I tillegg ble det observert tendenser til en positiv sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og forbedring i $VO_{2\text{maks}}$ og utnyttingsgrad av $VO_{2\text{maks}}$ på $W_{\text{laktatterskel}}$. Vi så derimot ingen sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ og utvikling i $W_{40\text{tt}}$, $W_{15\text{tt}}$, GE 175 W, GE 225 W, blodvolum eller HB_{masse} .

4.1 $VO_{2\text{snitt}}$

Det ble i denne intervensjonen gjennomført HIT-økter med lik gjennomsnittlig wattbelastning (100% av $W_{40\text{tt}}$). På tross av dette observerte vi en spredning i $VO_{2\text{snitt}}$ fra 77.1% - 93.7% mellom deltakerne. Denne spredningen gir et godt grunnlag til å estimere forskjeller i treningseffekt fra 80% til 90% av $VO_{2\text{maks}}$. Den positive sammenhengen vi så mellom $VO_{2\text{snitt}}$ på HIT-økter og større treningseffekt samsvarer med antakelsen om at treningstid $\geq 90\%$ av $VO_{2\text{maks}}$ er viktig for optimal treningseffekt (Buchheit & Laursen, 2013; Midgley & Mc Naughton, 2006; Wenger & Bell, 1986). Vi observerte ingen sammenheng mellom $VO_{2\text{snitt}}$ og Laktat_{snitt} eller BORG_{snitt} under intervallene. Dette indikerer at variasjonen i $VO_{2\text{snitt}}$ mellom deltakerne ikke kommer av forskjeller i treningsinnsats. Vi kan derimot spekulere i om

variasjonen mellom deltakernes VO_{2snitt} skyldes individuelle forskjeller i utnyttingsgrad av VO_{2maks} (%) på W_{40tt} . Dette underbygges av den positive sammenhengen mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utnyttingsgrad av VO_{2maks} (%) på $W_{laktatterskel}$ ved pretest ($p=0.007$), da $W_{laktatterskel}$ samsvarte godt med W_{40tt} ved pretest ($4.2\text{- og }3.9\text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$). I tillegg observerte vi en moderat stor intraklasse-korrelasjon for VO_{2snitt} -dataen, som antyder at deltakerne generelt har trent på et oksygenopptak tilsvarende deres VO_{2snitt} gjennom hele intervensjonen. Den lille variasjonen innad for hver deltaker kan være en konsekvens av at det under intervensjonen ble gjennomført tre ulike varianter av 5×8 min intervaller som potensielt stimulerer til ulikt VO_{2snitt} (Rozenek et al., 2007; Rønnestad & Hansen, 2016). Likevel kan vi basert på dette anta at den positive sammenhengen mellom VO_{2snitt} og forbedringer i ulike prestasjonsvariabler i stor grad skyldes et høyere oksygenopptak under treningen som førte til større treningsadaptasjoner.

4.2 Prestasjonsindeks

Vi så i denne studien en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} under HIT-økter og forbedring i prestasjonsindeks ($p=0.009$). Prestasjonsindeksen i denne studien ble kalkulert som gjennomsnittet av de viktigste prestasjonsindikatorerne ($W_{laktatterskel}$, W_{maks} og W_{15tt}). Disse indikatorene har blitt ansett som gode mål på utholdenhetsprestasjon, da de i stor grad påvirkes av VO_{2maks} , utnyttingsgrad av VO_{2maks} (%), arbeidsøkonomi og til dels anaerob kapasitet (Bassett & Howley, 2000; di Prampero, 1986; Jones & Carter, 2000). Prestasjonen på en 15 min sykkeltempo i allerede utmattet tilstand vil antageligvis også være av relevans for ytelsen mot slutten av en konkurranse (Van Erp & Sanders, 2021). Et samlet prestasjonsmål kan være gunstig i idretter som krever et stort omfang av kvaliteter, da det kan gjenspeile utøvernes fysiske nivå bedre enn hva enkeltvariabler gjør alene. Den positive sammenhengen vi så mellom VO_{2snitt} under HIT-økter og forbedring i prestasjonsindeks er dermed veldig interessant, da enkeltfaktorene i indeksen er vist å være gode indikatorer på prestasjon i konkurranse (Jacobs et al., 2011; Lucía et al., 1998; Noakes et al., 1990).

4.3 $W_{laktatterskel}$ og W_{maks}

Isolert fant vi også en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} under HIT-økter og forbedringer i $W_{laktatterskel}$ ($p=0.04$) og W_{maks} ($p=0.005$). Dette samsvarer med tidligere observasjoner fra lignende studier (Rønnestad et al., 2014; 2020; Turnes et al., 2016). Studien til Turnes et al., 2016 er en av få tidligere studier som har målt oksygenopptaket i en treningsperiode. Til motsetning fra den nåværende studien målte de kun oksygenopptaket under første og siste

intervalløkt. Gruppen med antatt høyest VO_{2snitt} viste en større økning i $W_{laktatterskel}$ sammenlignet med gruppen med lavere VO_{2snitt} . Rønnestad et al., 2014; 2020 sammenlignet kort- og langintervaller standardisert for lik opplevd anstrengelse (BORG), da denne tilnærmingen har blitt foreslått til å bedre gjenspeile hvordan utøvere vanligvis gjennomfører HIT-økter (Seiler et al., 2013). Kortintervallene som ble brukt i den sistnevnte studien var estimert til å gi et høyere VO_{2snitt} sammenlignet med langintervallene (Rønnestad et al., 2014; Rozenek et al., 2007). De fant at kortintervallgruppen hadde en større forbedring i W_{maks} samt tendenser til større forbedring i $W_{laktatterskel}$. Siden vi i denne studien kun observerte tendenser til en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og forbedringer i VO_{2maks} , kan det tyde på at noe av forbedringene i $W_{laktatterskel}$ og W_{maks} skyldes adaptasjoner av perifere fysiologiske faktorer (Buchheit & Laursen, 2013; Noakes et al. 1990; Denadai et al. 2006; Almquist et al., 2020). Den oksiderende kapasiteten til muskelcellene er svært sentral for $W_{laktatterskel}$, men kan også påvirke W_{maks} hos godt trente utøvere (Joyner & Coyle, 2008; Saltin & Rowell, 1980; Laursen & Jenkins, 2002). Forbedringer i mitokondriekapasitet og funksjon, bufferkapasitet og økt kapillerisering kan tenkes å være noen av faktorene som blir positivt stimulert av høyere VO_{2snitt} (Fiorenza et al., 2018; Laursen & Jenkins, 2002).

4.4 W_{15tt} og W_{40tt}

Vi fant ingen sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utvikling i verken W_{15tt} ($p=0.145$) eller W_{40tt} ($p=0.791$). Dette samsvarer med Stepto et al., 1999 hvor de sammenlignet ulike HIT-økter med forbedringer i en 40 km sykkeltempo. De så ingen klar sammenheng mellom HIT fra 80 - 100% av W_{maks} og forbedringer, som indikerte at høyere treningsintensitet ikke nødvendigvis ga bedre treningseffekt. Derimot så Rønnestad et al., 2014; 2020 en sammenheng mellom høyere intensitet på HIT og forbedringer på 20- og 40 min sykkeltempo. Det ble foreslått at den signifikant større forbedringen Rønnestad et al., 2014; 2020 observerte for kortintervallgruppen kunne forklares av et høyere VO_{2snitt} og større muskulært stress som kan ha ført til større perifere adaptasjoner (Noakes, 1991; Denadai et al., 2006). Det kan derfor tyde på at forskningsfeltet er noe ambivalent. Funnet i den nåværende studien indikerer at høyere VO_{2snitt} på HIT-økter ikke er assosiert med større forbedringer i 15- og 40 min sykkelprestasjon. Det kan tenkes at 15- og 40 min prestasjonstester i enda større grad kan bli påvirket av feilkilder sammenlignet med de andre testene, da utøverne selv må styre wattbelastningen. I tillegg var gjennomsnittsalderen på deltakerne relativt lav (21,9 år), og flere av deltakerne gikk enda på videregående skole med en alder fra 17-19 år. Det krever mye erfaring å gjennomføre en stabilt god sykkeltempo til maksimal utmattelse, iht. blant

annet disponering av krefter og valg av startbelastning. Flere av deltakerne hadde ingen til liten erfaring med tilsvarende tester tidligere, noe som kan ha ført til større variasjon i deltakernes endring fra pre- til posttest. En konsekvens av den større usikkerheten i endringsdataen, samt en noe lav utvalgsstørrelse ($N = 19$), kan være en lavere statistisk styrke til å oppfatte en sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og forbedringer i 15- og 40 min prestasjonstester. For å utligne tilfeldige variabler er det ifølge sentralgrenseteoremet tilstrekkelig med en utvalgsstørrelse på ≥ 30 (Jolliffe, 1995).

4.5 VO_{2maks} , utnyttingsgrad av VO_{2maks} (%) og arbeidsøkonomi

I denne studien observerte vi tendenser til en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og forbedring i VO_{2maks} ($p=0.053$). Basert på observasjoner fra tidligere studier kunne vi forventet en enda tydeligere sammenheng mellom økt VO_{2snitt} og forbedring i VO_{2maks} (Helgerud et al., 2007; Rønnestad et al., 2014; Turnes et al., 2016). Turnes et al., 2016 observerte at intervalltypen som stimulerte til mest tid på VO_{2maks} førte til en større økning i VO_{2maks} hos trente syklister. I likhet ble intervalltypen med anslått høyest VO_{2snitt} i Rønnestad et al., 2014 observert til å stimulere til større forbedringer i VO_{2maks} hos godt trente syklister. For utrente og hobbymosjonister har det også blitt observert en tydelig positiv sammenheng mellom økt intensitet og utvikling i VO_{2maks} (Gormley et al., 2008; Hottenrott et al., 2012; Matsuo et al., 2014). At vi i denne studien bare så tendenser til en sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utvikling i VO_{2maks} kan skyldes et relativt stort sprik i treningsstatusen blant deltakerne ($61.3 - 80.4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ i VO_{2maks}). Ettersom trening på høyere intensiteter ser ut til å være viktig for videre utvikling i VO_{2maks} for allerede godt trente utøvere (Buchheit & Laursen, 2013; Midgley & Mc Naughton, 2006; Wenger & Bell, 1986), kan det tenkes at intensiteten under 5x8min submaksimale intervalløkter ikke var tilstrekkelig for optimal utvikling i VO_{2maks} for deltakerne med høyest treningsstatus.

Vi så en nedgang i utnyttingsgraden av VO_{2maks} på $W_{laktatterskel}$ fra pre- til posttest. Denne nedgangen kan komme av at forbedringer i utnyttingsgrad ser ut til å kreve systematisk trening over lengre tid (Tønnessen & Rønnestad, 2018), samtidig som det etter få uker har blitt observert forbedringer i VO_{2maks} (Helgerud et al., 2007; Laursen et al., 2002; Rønnestad et al., 2014; Seiler et al., 2013; Turnes et al., 2016). Til tross for denne nedgangen så vi tendenser til en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} og utvikling i utnyttingsgrad av VO_{2maks} på $W_{laktatterskel}$ ($p=0.052$), noe som indikerer at høyere VO_{2snitt} er positivt relatert til

vedlikehold av utnyttingsgrad. Dette kan potensielt forklares av at utnyttingsgraden i hovedsak bestemmes av perifere faktorer (Coyle, 1995; Joyner & Coyle, 2008) og det tidligere har blitt observert at høyere treningsintensitet stimulerer til større perifere adaptasjoner (Buchheit & Laursen, 2013; Midgley et al., 2006; Noakes et al. 1990; Almquist et al., 2020). Samtidig så vi en forbedring i GE på 175- og 225W fra pre- til posttest. Vi kan anta at denne forbedringen var en konsekvens av økt mengde sykkeltraining under intervensjonen, da flere av deltakerne nettopp hadde hatt sesongpause og lite spesifikk sykkeltraining. Denne påstanden underbygges av at vi ikke så noen forbedringer i Kraft_{maks} eller Effekt_{maks} fra pre- til posttest. Vi så derimot ingen sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utvikling i GE på verken 175- eller 225W. Dette var som forventet da forbedring i GE hovedsakelig er assosiert med tilpasninger etter styrketrening og/eller store mengder utholdenhetstrening over lengre perioder (Lucía et al., 2002; Scrimgeour et al., 1986; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2009).

4.6 Hematologi

Blodvolum og Hb_{masse} er viktige faktorer som påvirker VO_{2maks} (Heinicke et al., 2001; Breil et al. 2010a; Helgerud et al. 2007) og kan derfor også påvirke utholdenhetsprestasjon. Det er likevel noe uklart om utholdenhetstrening fører til økninger Hb_{masse}, hvert fall hos allerede godt trente individer (Rønnestad et al., 2012). Vi så ingen økning i blodvolum eller Hb_{masse}, fra pre- til posttest. Dette samsvarer med Helgerud et al (2007) der det ble gjennomført enten tre ukentlige lavintensitets- eller HIT-økter, hvor de heller ikke så en økning. På samme måte har det tidligere blitt rapportert om at verken 12 uker med intens trening på roere (Gore et al., 1997) eller utholdenhetstrening over ett år (Prommer et al., 2005) viste noen effekt på Hb_{masse} for godt trente utøvere. Det indikeres at trening har liten effekt på økning i Hb_{masse} hos godt utholdenhetstrente personer og at genetiske predisposisjoner bør anses å være ansvarlig for de høye Hb_{masse}-verdiene hos toppidrettsutøvere og med det deres utholdenhetsprestasjoner (Prommer et al., 2008). Vi observerte heller ingen sammenheng mellom høyere VO_{2snitt} på HIT-økter og økninger i blodvolum ($p=0.354$) eller HB_{masse} ($p=0.960$). Dette var som forventet da det tidligere har blitt foreslått at en manglende treningseffekt kan komme av en allerede høy treningsstatus på deltakerne eller for lav treningsintensitet (Sawka et al., 2000). Vi kan derfor anta at variasjonen i VO_{2snitt} mellom deltakerne gjennom denne intervensjonen ga for lite forskjeller i totalt stimuli for en potensiell endring i blodvolum og Hb_{masse}.

4.7 Perspektiv

Hos allerede godt trente utøvere er optimalisering av treningen viktig for å oppnå best mulig utholdenhetsprestasjon. Det har tidligere blitt foreslått at godt trente utøvere krever høyere arbeidsintensitet for å oppnå optimal treningseffekt. Etter 9 uker med trening så vi en positiv sammenheng mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utvikling i prestasjonsindeks, W_{maks} og $W_{laktatterskel}$. Vi ser dermed viktigheten av et høyt VO_{2snitt} under intervalltrening og effekten det har på forbedringer i utholdenhetsprestasjon. Det kan derfor tenkes at godt trente syklister med et ønske om å optimalisere treningseffekten bør sikte etter et så høyt VO_{2snitt} som mulig på 5x8 min intervaller. Vi observerte ingen sammenheng mellom VO_{2snitt} og laktatkonsentrasjon eller opplevd anstrengelse under 5x8 min intervallene. Det ser dermed ut til at disse belastningsindikatorne ikke kan differensiere mellom høyere eller lavere oksygenopptak når dette intervalldesignet benyttes. Vi observerte derimot en tydelig sammenheng mellom utnyttingsgrad av VO_{2maks} på $W_{laktatterskel}$ ved pretest og VO_{2snitt} på intervalløktene, som indikerer at VO_{2snitt} på 5x8 min intervaller i stor grad bestemmes av utnyttingsgraden på $W_{laktatterskel}$. Dette kan tolkes som at syklister med høyere utnyttingsgrad får større treningseffekt av submaksimale 8 min intervalldrag enn syklister med lavere utnyttingsgrad. Vi kan basert på dette stille spørsmål om syklister med lavere utnyttingsgrad bør benytte andre intervalldesign for å oppnå høyere VO_{2snitt} og med det potensielt få bedre treningseffekt.

5.0 Konklusjon

Denne studien indikerer at trening med et høyere VO_{2snitt} på HIT-økter over en 9-ukers periode gir større adaptasjoner i fysiologiske- og prestasjonsvariabler. Dette kommer tydelig frem ved den positive sammenhengen mellom VO_{2snitt} på HIT-økter og utvikling i prestasjonsindeks, W_{maks} og $W_{laktatterskel}$. Dette ble observert på tross av likt totalt arbeidsvolum og wattbelastning (100% av W_{40tt}).

6.0 Referanseliste

- Almquist, N., Nygaard, H., Vegge, G., Hammarström, D., Ellefsen, S., & Rønnestad, B. (2020). Systemic and muscular responses to effort-matched short intervals and long intervals in elite cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30. <https://doi.org/10.1111/sms.13672>
- Banister EW, Carter JB, Zarkadas PC. Training theory and taper: Validation in triathlon athletes. *Eur J Appl Physiol*. 1999;79:182-191
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70–84. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Billat, L. V. (2001). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(1), 13–31. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131010-00002>
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL, US: *Human Kinetics*.
- Breil FA, Weber SN, Koller S, Hoppeler H, Vogt M (2010a) Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *Eur J Appl Physiol* 109(6):1077–1086. doi:10.1007/s00421-010-1455-1
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Colyer, S. L., Stokes, K. A., Bilzon, J. L. J., Holdcroft, D., & Salo, A. I. T. (2018). Training-Related Changes in Force-Power Profiles: Implications for the Skeleton Start. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 412–419.
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23, 25–63.
- Denadai, B. S., Ortiz, M. J., Greco, C. C., & de Mello, M. T. (2006). Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO₂ max: Effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 31(6), 737–743. <https://doi.org/10.1139/h06-080>
- Di Prampero, P. E. (1986). The anaerobic threshold concept: A critical evaluation. *Advances in Cardiology*, 35, 24–34. <https://doi.org/10.1159/000413436>
- Fiorenza, M., Gunnarsson, T. P., Hostrup, M., Iaia, F. M., Schena, F., Pilegaard, H., & Bangsbo, J. (2018). Metabolic stress-dependent regulation of the mitochondrial biogenic molecular response to high-intensity exercise in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 596(14), 2823–2840. <https://doi.org/10.1113/JP275972>
- Foss, Ø., & Hallén, J. (2005). Validity and stability of a computerized metabolic system with mixing chamber. *International journal of sports medicine*, 26(7), 569–575. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821317>
- Golden, H. P., & Vaccaro, P. (1984). The effects of endurance training intensity on the anaerobic threshold. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 24(3), 205–211.
- Gore, C. J., Hahn, A. G., Burge, C. M., & Telford, R. D. (1997). VO₂max and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training. *International Journal of Sports Medicine*, 18(6), 477–482. <https://doi.org/10.1055/s-2007-972667>
- Gormley, S. E., Swain, D. P., High, R., Spina, R. J., Dowling, E. A., Kotipalli, U. S., & Gandrakota, R. (2008). Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), 1336–1343.

- Heinicke, K. (2001). Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *Int J sports med*, 22(7):504-12
[10.1055/s-2001-17613](https://doi.org/10.1055/s-2001-17613)
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Hottenrott, K., Ludyga, S., & Schulze, S. (2012). Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(3), 483–488
- Jacobs, R., Rasmussen, P., Siebenmann, C., Díaz, V., Gassmann, M., Pesta, D., Gnaiger, E., Nordsborg, N., Robach, P., & Lundby, C. (2011). Determinants of time trial performance and maximal incremental exercise in highly trained endurance athletes. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 111, 1422–1430. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00625.2011>
- Jeukendrup, A. E., Craig, N. P., & Hawley, J. A. (2000). The bioenergetics of World Class Cycling. *Journal of science and medicine in sport*, 3(4), 414–433. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(00\)80008-0](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(00)80008-0)
- John Fox & Georges Monette (1992) Generalized Collinearity Diagnostics, *Journal of the American Statistical Association*, 87:417, 178-183, DOI: [10.1080/01621459.1992.10475190](https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475190)
- Jolliffe, I. T. (1995). Sample Sizes and the Central Limit Theorem: The Poisson Distribution as an Illustration. *The American Statistician*, 49(3), 269. <https://doi.org/10.2307/2684197>
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 29(6), 373–386. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lamberts RP, Swart J, Woolrich RW, Noakes TD, Lambert MI (2009d) Measurement error associated with performance testing in well-trained cyclists; application to the precision of monitoring changes in training status. *Int Sport Med J* 10:33–44
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>
- Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(11), 1801–1807. <https://doi.org/10.1097/00005768-200211000-00017>
- Lucía, A., Pardo, J., Duránte, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 19(5), 342–348. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971928>
- Matsuo, T., Saotome, K., Seino, S., Shimojo, N., Matsushita, A., Iemitsu, M., Ohshima, H., Tanaka, K., & Mukai, C. (2014). Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on VO₂max and cardiac mass. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(1), 42–50. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a38da8>

- 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 Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(2), 117–132. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636020-00003>
- Mondal, H., & Lotfollahzadeh, S. (2022). Hematocrit. I *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542276/>
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8(1), 35–45. <https://doi.org/10.1080/02640419008732129>
- Olympiatoppen. (2021, 10. oktober). OLT I-SKALA. [Olympiatoppens intensitetsskala \(nif.no\)](https://olympiattoppen.no)
- Péronnet, F., & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport*, 16(1), 23–29
- Prommer, N., Sottas, P.-E., Schoch, C., Schumacher, Y. O., & Schmidt, W. (2008). Total Hemoglobin Mass-A New Parameter to Detect Blood Doping? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(12), 2112–2118. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181820942>
- Rozenek, R., Funato, K., Kubo, J., Hoshikawa, M., & Matsuo, A. (2007). Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO₂max. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 21, 188–192. <https://doi.org/10.1519/R-19325.1>
- Rønnestad, B. R., & Hansen, J. (2016). Optimizing Interval Training at Power Output Associated With Peak Oxygen Uptake in Well-Trained Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 999–1006. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73e8a>
- Rønnestad, B. R., Ellefsen, S., Nygaard, H., Zacharoff, E. E., Vikmoen, O., Hansen, J., & Hallén, J. (2012). Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists: Block periodization in well-trained cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), 327–335. <https://doi.org/10.1111/sms.12016>
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Ellefsen, S. (2014). Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 34–42. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x>
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Nygaard, H., & Lundby, C. (2020). Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(5), 849–857. <https://doi.org/10.1111/sms.13627>
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Vegge, G., Tønnessen, E., & Slettaløkken, G. (2014). Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach: Short intervals vs long intervals. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(2), 143–151.
- Saltin, B., & Rowell, L. B. (1980). Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Federation Proceedings*, 39(5), 1506–1513.
- Sawka, M. N., Convertino, V. A., Eichner, E. R., Schnieder, S. M., & Young, A. J. (2000). Blood volume: Importance and adaptations to exercise training, environmental

stresses, and trauma/sickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 332–348. <https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00012>

- Schmidt, W., & Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: A new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5–6), 486–495. <https://doi.org/10.1007/s00421-005-0050-3>
- Scrimgeour, A. G., Noakes, T. D., Adams, B., & Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(2), 202–209. <https://doi.org/10.1007/BF00715006>
- Seiler, S., Jøranson, K., Olesen, B. V., & Hetlelid, K. J. (2013). Adaptations to aerobic interval training: Interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(1), 74–83. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01351.x>
- Siebenmann, C., Keiser, S., Robach, P., & Lundby, C. (2017). CORP: The assessment of total hemoglobin mass by carbon monoxide rebreathing. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 123(3), 645–654. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00185.2017>
- Stepto, N. K., Hawley, J. A., Dennis, S. C., & Hopkins, W. G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5), 736–741. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00018>
- Støren, O., Helgerud, J., Støa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 1087–1092. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318168da2f>
- Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M., Hoff, J., & Helgerud, J. (2009). Maximal Strength Training Improves Cycling Economy in Competitive Cyclists. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 24, 2157–2165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb16a>
- Turnes, T., de Aguiar, R. A., Cruz, R. S. de O., & Caputo, F. (2016). Interval training in the boundaries of severe domain: Effects on aerobic parameters. *European Journal of Applied Physiology*, 116(1), 161–169. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3263-0>
- Tønnessen, E., & Rønnestad, B. R. (2018). *Trening fra barneidrett til toppidrett. Gyldendal Olympiatoppen.*
- Van Erp, T., & Sanders, D. (2021). Demands of professional cycling races: Influence of race category and result. *European Journal of Sport Science*, 21(5), 666–677. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1788651>
- Wenger, H. A., & Bell, G. J. (1986). The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 3(5), 346–356. <https://doi.org/10.2165/00007256-198603050-00004>