

VURDERING AV DISKUSJON I DAGBLADET OG VG SOMMEREN 2008 ANGÅENDE INTERVALLTRENING OG LANGKJØRING

John F. Moxnes
Ospelia 21
2020,
Skedsmokorset¹

Kjell Hausken
Faculty of Social Sciences
University of Stavanger
N-4036 Stavanger, Norway
E-mail: kjell.hausken@uis.no
Tel.: +47 51 831632, Fax: +47 51 831550

1 Introduksjon

I Dagbladet og VG sommeren 2008 foregikk en diskusjon mellom sentrale forskere fra Olympiatoppen og NTNU angående intervalltrening. Første artikkel stod i Dagbladet 2/7 2008. Diskusjonen var relatert til Thor Hushovd sine prestasjoner i sykkelrittet Tour de France, men har stor allmenn interesse da den tilkjennegir en grunnleggende uenighet blant Norges sentrale idrettsmiljøer angående prinsippene for utholdenhetstrening. Utholdenhet og utholdenhetstrening er også svært viktig for elitesoldater i skarpe oppdrag. Vi har dermed studert diskusjonen mer inngående, og har knyttet en forbindelse til vår egen forskning.

Bjørn Dæhli sier til Dagbladet 3/7 2008: "Man må innom mer intervalltrening enn hva som hittil har blitt kjent for å bli god." Jan Helgerud fra NTNU sier til VG 11/7 2008: "Hvis Hushovd trenger et høyere O₂-opptak, så er metodikken vi anbefaler den beste." Atle Kvålsvoll fra Olympiatoppen sier til VG 11/7 2008: "Hushovd trener 85% helt rolig utenfor konkurranser. Vi har bevis for at den type trening vi står for fungerer. Hvis han hadde trent slik de foreskriver hadde han ikke hatt en sjanse." Atle Kvålsvoll sier til VG 11/7 2008: "Jeg kaller det snarveismetoden. Det fungerer ikke i praksis." Jostein Hallen fra Olympiatoppen sier til VG 11/7 2008: "Det er ingen toppidrettsutøvere i hele verden som trener slik som forskerne (fra NTNU) hevder. Dette gir stor effekt på kort tid, men vi er ute etter stor effekt uavhengig av tid." Jan Helgerud sier til VG 11/7 2008: "I prinsippet er fire ganger fire minutters intervalltrening den viktigste treningen utholdenhetsutøvere skal gjøre". Dag Kaas sier til dette: "Praksis har gang på gang vist at høyt O₂-opptak kommer etter variert og mye trening."

Diskusjonen tok av og ordbruken ble noe skarp til tider. Håkon Lutdal (tidligere landslagssjef i friidrett) sier om Jan Hoff (NTNU) i Dagbladet 12/7 2008: "Som forskning er det han nå kommer med å betrakte som en bekreftelse og bør presenteres som det, og ikke i en lapskaus som kanskje best kan beskrives som tynn sommersuppe." Jan Helgerud sier til VG 11/7 2008:

¹ Work: Department for Protection
Norwegian Defence Research Establishment
P.O. Box 25
N-2007 Kjeller, Norway
E-mail: john-f.moxnes@ffi.no
Tel.: +47 63 807514, Fax: +47 63 807509

”Hushovd må ha et bra O₂-opptak for å prestere det han gjør. Det er umulig bare å ha trent rolig og langt for å få det til, det må ha vært masse intervalltrening.” Altså Kvålsvoll lyver! Hushovd driver mye med intervalltrening! Johan Kaggstad fra Olympiatoppen sier til VG 11/7 2008: ”Å si at du slipper unna med mindre trening er å lyve. Det gjør meg forbannet.” Jan Hoff fra NTNU sier til VG 11/7 2008: ”Hva en gammel syklist og en ettårig økonomiutdannet mener og tror er temmelig uinteressant. Jeg driter en lang marsj i hva de mener.” Dag Kaas fra Olympiatoppen sier til VG 11/7 2008: ”Tidligere var de moderne og vi konservative, men nå har de blitt helt tøvete”. Tidligere landslagstrener Svein Tore Samdal sier til VG 12/7 2008: ”Flere i Olympiatoppen forstår seg ikke på fysiologi eller treningslære.” Toppidrettssjef Jarle Aambø sier at Samdals uttalelser er oppgulp og sier til VG 12/7 2008: ”Men hvis 100 rapporter viser en ting og en enkelt rapport noe annet, er det ikke tvil om hva vi skal velge. Da må vi basere oss på den tunge internasjonale forskningen, og ikke på enkeltforskning i Trøndelag.” Altså Trønderne kommer med tvilsomme resultater!

Vi kan redusere denne diskusjonen ned til tre hovedspørsmål: i) Hva er det forskningsmessige innhold i Helgerud et al. sin artikkel fra 2007 om betydningen av intervalltrening? ii) Er resultatene i motstrid med annen forskning slik Aambø hevder, gammelt nytt slik Håkon Lutdal hevder, eller genuint nytt og godt bidrag til forskningen? iii) Bør resultatene fra forskningen medføre at dagens treningsprinsipper blant atleter endres slik Helgerud, Hoff og Samdal hevder, eller har resultatene liten konsekvens slik Hallen, Kaggstad, Kvålsvoll og Kaas hevder?

For å vurdere disse spørsmål, la oss starte med det faglige utgangspunktet.

2 Hva er det faglige utgangspunktet?

Det faglige utgangspunktet er en artikkel av Helgerud et al. (2007) i tidsskriftet *Medicine & Science in Sports & Exercise* som ser på treningseffekten av fire forskjellige treningsmetodikker. De fire gruppene løp tre økter i uka i åtte uker på tredemølle (løpebånd) med 5.3% stigning. Hver økt startet med ti minutter oppvarming på 60% av O₂maks (maksimalt oksygen opptak). Hver økt ble avsluttet med tre minutter nedløping på 60% av O₂maks. Oppvarming, trening og nedløping foregikk i ett.

a) ”Long slow distance running” (LSD, langsom langdistanseløping) 60% av O₂maks i 45 minutter. Oppvarming og nedløping er således av samme intensitet som selve løpet. b) ”Lactate threshold running” (LT, laktatgrenseløping) 80% av O₂maks i 24.25 minutter. c) ”15/15 intervalltrening” (15/15) 87.5% av O₂maks i dragene på 15 sekunder 47 ganger. I de 46 hvileperiodene var belastningen 60% av O₂maks. d) ”4x4 minutter intervall trening” (4x4) 87.5% av O₂maks 4 minutter 4 ganger. I hvileperiodene på tre minutter var belastningen 60% av O₂maks.

55 ikke-røkende og trente mannlige universitetsstudenter inngikk i studien. De hadde gjennomsnittlig vekt 82 kg og O₂maks 54 ml/min/kg før studien. Dette gir en maksimum energirate på ca $e_M = 1500W^2$. De trente til vanlig tre ganger i uken før studien. Løpsopplegget for de fire gruppene var tenkt slik at det totale energiforbruket inkludert oppvarming, aktiv hvile og nedløping var likt i alle øktene. Dette ga ca. 5.9 km løpsdistanse pr økt.

² Vi setter at 1ml O₂ svarer til 20 J.

De fant at slagvolumet (ml blod pr slag) avtok med 1.2% for LSD, og økte med 0.9% for LT, 9.4% for 15/15, og 10.4% for 4x4. (Tabell 2). De fant at O2maks avtok med 0.6% for LSD, og økte 2.0% for LT, 5.5% for 15/15, 7.2% for 4x4. (Tabell 1). Alle gruppene hadde omtrent samme forbedring av løpsøkonomien (ml/meter $kg^{0.75}$), 8% for LSD, 12% for LT, 8% for 15/15, og 10% for 4x4. Noe overraskende fant de ikke forandring i laktatgrensen ("lactate threshold") for noen av gruppene. Åtte uker burde vært lang nok tid til å finne en slik effekt, spesielt når en fikk en så tydelig endring av løpsøkonomien. Vi undres på dette.

Fra dette går det fram at 4x4 eller 15/15 øker O2maks, men ikke at 4x4 eller 15/15 er optimale treningsmetodikker.

Dvs optimal i betydningen: størst forbedring pr økt i O2maks for det gitte energiforbruk pr økt.

3 Beregning av energiforbruk og treningsstimuli

Vi definerer energiforbruk under en økt som

$$Energi(t) = \int_{t_0}^t e(u) du = e_M \int_{t_0}^t \frac{e(u)}{e_M} du \quad (3.1)$$

der t_0 er starttid, t er sluttid, og $e(t)$ og e_M er aerob energirate (effekt) og maksimum aerob energirate (som relaterer proporsjonalt til O2maks). Dette gir

$$Energi_{LSD} = 60 e_M \left(\underbrace{45 \times 0.6}_{Lop} \right) s = e_M 1620s = 2.58 \cdot 10^6 J, e_M = 1590W$$

$$Energi_{LT} = 60 e_M \left(\underbrace{10 \times 0.6}_{Opp \text{ varming}} + \underbrace{24.25 \times 0.8}_{Lop} + \underbrace{3 \times 0.6}_{Nedlop} \right) s = e_M 1632s = 2.49 \cdot 10^6 J, e_M = 1527W$$

$$Energi_{15/15} = 60 e_M \left(\underbrace{10 \times 0.6}_{Opp \text{ varming}} + \underbrace{47 \times 0.25 \times 0.875}_{47 \text{ drag}} + \underbrace{46 \times 0.25 \times 0.6}_{46 \text{ aktiv hvile}} + \underbrace{3 \times 0.6}_{Nedlop} \right) s = e_M 1499s$$

$$= 2.45 \cdot 10^6 J, e_M = 1637W$$

$$Energi_{4x4} = 60 e_M \left(\underbrace{10 \times 0.6}_{Opp \text{ varming}} + \underbrace{4 \times 4 \times 0.875}_{4 \text{ drag}} + \underbrace{3 \times 3 \times 0.6}_{3 \text{ aktiv hvile}} + \underbrace{3 \times 0.6}_{Nedlop} \right) s = e_M 1632s$$

$$= 2.48 \cdot 10^6 J, e_M = 1520W$$

$$Energi_K = 60 e_M \left(\underbrace{10 \times 0.6}_{Opp \text{ varming}} + \underbrace{22.27 \times 0.875}_{Lop} + \underbrace{3 \times 0.6}_{Nedlop} \right) s = e_M 1632s$$

$$= 2.48 \cdot 10^6 J, e_M = 1520W \quad (3.2)$$

Multiplikasjon med 60 er for å konvertere til tid i sekunder. Vi ser at øktene gir ca 600 Kcal. Ingen stor økt for den som vant til å trene. Ligning (3.2) beregner også verdier for en 5. hypotetisk treningsmetodikk (underindeks K for konkurranse) der løperen velger samme treningsintensitet på 87.5% av O2maks som under 15/15 og 4/4, men uten hvileperioder. En slik treningsmetodikk er vanlig (eller i det minste ikke uvanlig) for godt trente individer med ambisjoner. Løperen løper i 22.17 minutter, som er valgt slik at samme energi oppnås som

ved 4x4. Gruppene endrer sin maksimale aerobe energirate som resultatet av treningen. Vi får at

$$Energi_{LT} / Energi_{LSD} = 0.97, Energi_{15/15} / Energi_{LSD} = 0.95, Energi_{4x4} / Energi_{LSD} = 0.96 \quad (3.3)$$

De fire gruppene trente med forskjellig treningsstimuli pr økt, definert ved den sedvanlige Trimp (Training impulse, se Moxnes og Hausken (2008) med referanser)

$$\underbrace{Trimp(t)}_{\text{Training impulse}} = \int_{t_0}^t \underbrace{w\left(\frac{e(u)}{e_M}\right)}_{\text{Vektfunksjon}} \underbrace{\frac{e(u)}{e_M}}_{\text{Fraksjon av maks aerob energirate}} du \quad (3.4)$$

Vektfunksjonen er gitt ved Banister et al. (1985/1986) og Morton et al. (1990), dvs.

$$w(x) = w_0 \text{Exp}(bx) = \text{Exp}(b(x-1)) \text{ når } w_0 = \text{Exp}(-b), 0 \leq x \leq 1 \quad (3.5)$$

Parameter b er estimert av Morton et al. (1990) til å være b=1.92. Vi kan uten tap av generalitet sette $w_0 = \text{Exp}(-b)$ slik at vektfunksjonen er 1 for x=1, og mindre enn 1 når $0 \leq x < 1$.

Trimp verdiene blir da for $b = 1.92$

$$w(0.6) = 0.464, w(0.8) = 0.681, w(0.875) = 0.787$$

$$Trimp_{LSD} = 60 \left(\underbrace{45 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Løp}} \right) s = 752s$$

$$Trimp_{LT} = 60 \left(\underbrace{10 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Oppvarming}} + \underbrace{24.25 \times 0.8 \times 0.681}_{\text{Løp}} + \underbrace{3 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Nedløp}} \right) s = 1010s$$

$$Trimp_{15/15} = 60 \left(\underbrace{10 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Oppvarming}} + \underbrace{47 \times 0.25 \times 0.875 \times 0.787}_{47 \text{ drag}} + \underbrace{46 \times 0.25 \times 0.6 \times 0.464}_{47 \text{ aktivhvile}} + \underbrace{3 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Nedløp}} \right) s$$

$$= 894s$$

$$Trimp_{4x4} = 60 \left(\underbrace{10 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Oppvarming}} + \underbrace{4 \times 4 \times 0.875 \times 0.787}_{4 \text{ drag}} + \underbrace{3 \times 3 \times 0.6 \times 0.464}_{3 \text{ aktivhvile}} + \underbrace{3 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Nedløp}} \right) s$$

$$= 1028s$$

$$Trimp_K = 60 \left(\underbrace{10 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Oppvarming}} + \underbrace{22.17 \times 0.875 \times 0.787}_{\text{Løp}} + \underbrace{3 \times 0.6 \times 0.464}_{\text{Nedløp}} \right) s = 1133s \quad (3.6)$$

Det er klart at LT og 4x4 gir flere Trimp enn LSD og 15/15. Vi merker oss dog at den hypotetiske metodikken K gir flest antall Trimp, og dermed flest antall Trimp pr energienhet.

Vi tror at b kan være betydelig større enn 1.92 for godt trente atleter. Hvis b=10, endres (3.6) til

$$w(0.6) = 0.0183, w(0.8) = 0.135, w(0.875) = 0.286$$

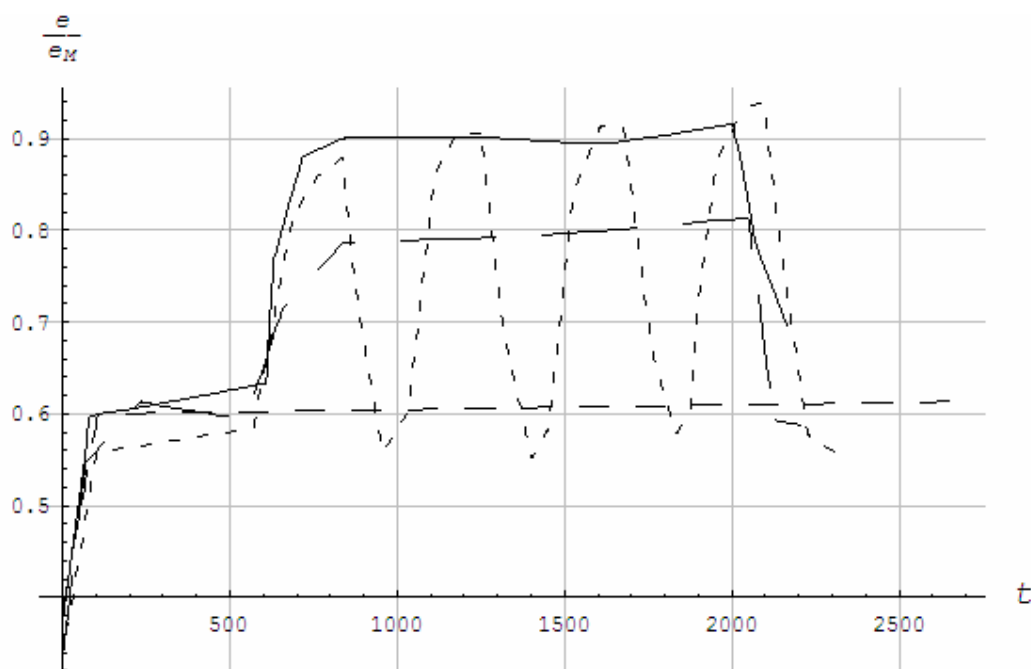
$$Trimp_{LSD} = 29.7s, Trimp_{LT} = 166s, Trimp_{15/15} = 193s, Trimp_{4x4} = 255s, Trimp_K = 342s \quad (3.7)$$

Nå gir LT mindre Trimp enn 15/15 som igjen gir mindre enn 4x4. Vektfunksjonen er svært viktig for vurderingen av Trimp verdiene relativt.

4 Empirisk studie av 4 treningsmetodikker ved bruk av pulsklokkedata

Denne seksjonen presenterer resultater ved bruk av pulsklokkedata fra Helgerud et al. (2007). For de fire forskjellige treningsmetodikkene målt puls som funksjon av tid for fire løpere. Disse kurvene avleser vi og digitaliserer. Vi skalerer kurvene slik at vi får ut aerob energirate som funksjon av tiden. Sammenhengen mellom relativ puls HR/HR_{max} og relativ energirate e/e_M er gitt ved at $HR/HR_{max} = 0.25 + 0.75(e/e_M) \Rightarrow e/e_M = (-0.25 + HR/HR_{max})/0.75$

Figur 2 viser resultatene for de 4 treningsmetodikkene



Figur 2: Fraksjon av maksimum aerob energirate som funksjon av tid i sekunder for de fire forskjellige treningsmetodikkene.

— : LSD :LT - - - - :15/15 - . - . :4x4

Kurvene er noe glattet av oss i forhold til det som framkommer eksperimentelt. Integrering av kurvene gir energiforbruket pr økt som

$$Energi_{LSD} = e_M 1621s, Energi_{LT} = e_M 1601s, Energi_{15/15} = e_M 1737s, Energi_{4x4} = e_M 1623s \quad (4.1)$$

Større tid for 15/15 kan skyldes at pulsklokken som er av type Polar, ikke registrerer godt nok faktisk nedgang i pulsen under 15 sekunders hvile mellom dragene siden klokka beregner gjennomsnittet over 5 sekunder, som oppgitt i klokka sin manual. Trimp verdiene er nå

$$Trimp_{LSD} = 757s, Trimp_{LT} = 974s, Trimp_{15/15} = 1273s, Trimp_{4x4} = 1007s \quad (4.2)$$

15/15 gir størst Trimp, men kan betviles siden pulsklokka som nevnt kanskje ikke måler godt nok faktisk pulsnedgang i puls i løpet av 15 sekunders hvile. Helgerud et al. (2007) foretok i

tillegg en pilotstudie der de målte oksygenopptaket for de 4 forskjellige treningsmetodikkene. De brukte åtte utøvere. For pilotstudien var $e_M = 1600W$. De fant da at

$$\begin{aligned}
 Energi_{LSD} &= 131.0L O_2 = 2.62 \cdot 10^6 J = e_M 1638s, \\
 Energi_{LT} &= 128.1L O_2 = 2.56 \cdot 10^6 J = e_M 1601s, \\
 Energi_{15/15} &= 133.6L O_2 = 2.67 \cdot 10^6 J = e_M 1670s, \\
 Energi_{4x4} &= 127.3L O_2 = 2.55 \cdot 10^6 J = e_M 1591s,
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

$Energi_{15/15}$ i (4.3) stemmer bedre med (4.1) enn med (3.2). Vi setter opp i tabell.

	Fra energi i (3.2)	Fra puls (4.1)	Fra pilotstudie (4.3)
LSD	1620s	1621s	1638s
LT	1632s	1601s	1601s
15/15	1499s	1737s	1670s
4x4	1632s	1623s	1591s

Tabell 1: Energi/ e_M for forskjellige treningsmetodikker og forskjellige beregningsmåter.

Som vi ser er resultatene konsistente bortsett fra for 15/15. For 15/15 bruker vi begge betraktningmåtene (kolonne 1 og 2) slik at vi ser forskjellen. For de andre treningsmetodikkene bruker vi bare kolonne 1.

5 Matematisk modell for performance (maksimum aerob kapasitet)

Vi har funnet antall Trimp og vil nå beregne "performance". Vi bruker likningene til Moxnes og Hausken (2008) for muskelvekst. Vi relaterer som Helgerud et al. (2007) vekst i maksimum aerob kapasitet til økt slagvolum og dermed økt volum på hjertemuskel. Dvs. vi setter at "performance" er maksimal aerob kapasitet, i.e. $p(t) = e_M(t)$, $p_0 = e_M(t_0)$. Likningene til Moxnes og Hausken (2008) er basert på to fundamentale prinsipper for muskelvekst: "train to failure" and "use it or lose it". Den deriverte av Timp mhp. tiden kalles treningsintensiteten. Den er gitt fra likning (3.1) og er $\dot{T}(t) = w(e(t)/e_M)e(t)/e_M$. Vi har at

$$\begin{aligned}
 \underbrace{\dot{h}(t)}_{\text{Derivative failure}} &= \alpha \underbrace{\dot{T}(t)}_{\text{Physical intensity}} - \beta \underbrace{h(t)}_{\text{Failure}}, (a) \quad \underbrace{\dot{g}(t)}_{\text{Derivative fitness}} = \underbrace{\mu h(t)(1 - \dot{T}(t))}_{\text{Anabolic process due to failure}} - \underbrace{\nu g(t)}_{\text{Catabolic process}}, (b) \\
 \underbrace{p(t)}_{\text{Performance}} &= g(t) \text{Exp}(-\eta h(t)), (c)
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

hvor α , β , μ and ν er positive parametere med dimensjon 1/tid. Modellen er basert på prinsippet om anabolske og katabolske prosesser. Mikroavrivninger eller anabolske stoffer (failure) i muskel opptrer pga treningsintensitet, men forsvinner asymptotisk over tid uten treningsintensitet, se (5.1a). Muskelvolumvekst inntreer pga mikroavrivninger/anabolske stoffer i muskel, men vekst reduseres under selve treningsutøvelsen hvis treningsintensiteten er for høy. Mesteparten av muskelvolumveksten vil vanligvis inntre over tid etter treningsøkt. Uten muskelavrivninger eller anabolske stoffer forsvinner muskelvolum (fitness) asymptotisk

med tid, se (5.1b). Muskelstyrke (performance) er en funksjon av muskelvolum og graden av mikroavrivninger og anabolske stoffer, se (5.1c). Likningene i (5.1) har en ”steady state” løsning som er

$$h_{ss} = \frac{\alpha \dot{T}}{\beta}, g_{ss} = \left(\frac{\mu \alpha}{\nu \beta} \right) (1 - \dot{T}) \dot{T}, p_{ss} = h_{st} \text{Exp}(-\eta g_{ss}) \quad (5.2)$$

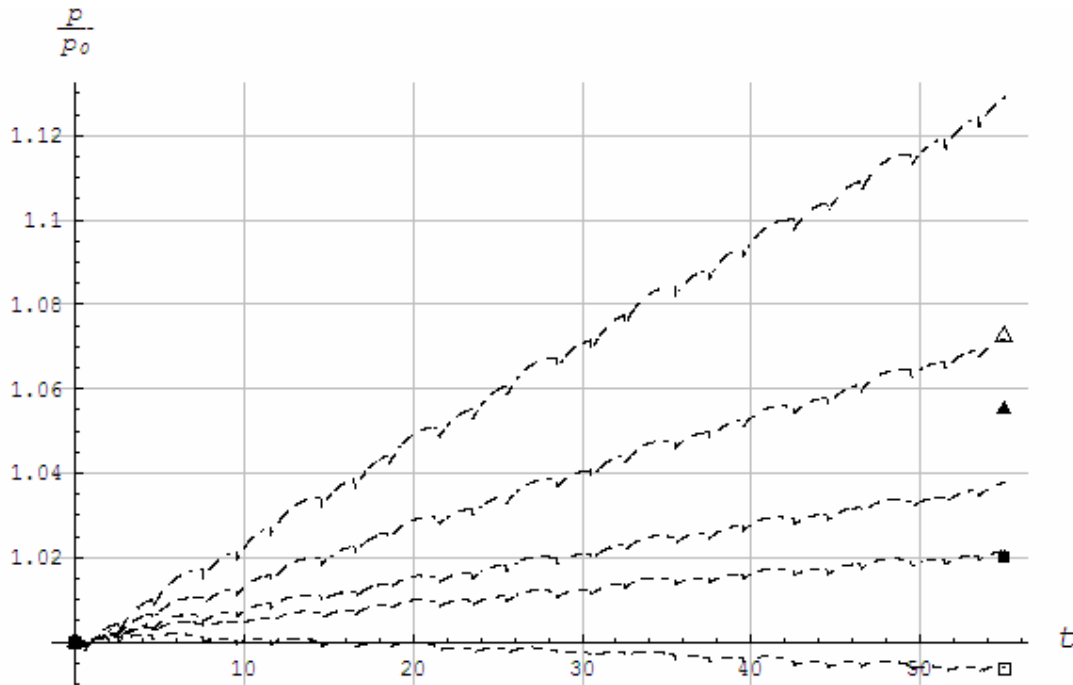
Enheden til “failure” er vilkårlig og vi kan uten tap av generalitet sette $\alpha = 1/24$ når vi bruker tid i timer som enhet. Vi bestemmer β ved at muskler vanligvis heles på 1-2 dager etter bruk. Vi setter således $\beta = 0.5/24$ hvis vi regner i timer. Enheden til ”performance” er også vilkårlig og vi kan sette uten tap av generalitet at $\mu = 1/24$. Vi betrakter muskelvolumreduksjon som et resultat av den katabolske prosessen som foregår i kroppen. Det forsvinner ut av kroppen ca 0.3% protein pr dag. Vi setter således at $\nu = 0.003/24$. Vi har tidligere funnet at $\eta = 0.2$.

6 Simulering av matematisk modell

Vi bruker Trimp verdiene for de forskjellige treningsmetodikkene og setter treningsintensitet inn i likningssettet til Moxnes og Hausken (2008). Siden trening bare foregår over en kort periode (ca. 30-40 minutter) relativt til tiden det tar for muskelvekst eller muskeldegradering (flere dager), forenkler vi treningsintensiteten for 15/15 og 4x4 til et gjennomsnitt over den tid treningen tar med oppvarming og nedløping. Dvs treningsintensiteten under treningen blir uniform og lik antall Trimp delt på tiden treningen tar. En usikkerhet er formen til utøverne ved start av testen og vektfunksjonen. Hvis utøverne er godt trent, vil det kreves mye for å opprettholde formen. Utøverne trente til vanlig tre ganger i uken i forskjellige former for utholdenhetstrening før testen. Det var derfor grunn til å tro at LSD-treningen på 60% av O2maks i 45 minutter tre ganger i uken ikke var mer utholdenhetstrening enn de allerede hadde vært utsatt for. Dvs en kunne ikke forvente noen forbedring av O2maks. Dette viste seg også å stemme. Vi velger å la vektfunksjonen være variabel, og tilpasser den slik at modellen reflekterer eksperimentene i størst mulig grad. Vi antar at utøverne var i en ”steady- state” situasjon ved starten av testen. Vi lar således starttilstanden være beskrevet gjennom ”steady- state verdien” med en formfaktor som vi tilpasser. Dvs

$$h(0) = \frac{\alpha \dot{T}(0)}{\beta}, g(0) = \left(\frac{\mu \alpha}{\nu \beta} \right) (1 - \dot{T}(0)) \dot{T}(0), \dot{T}(0) = \lambda \frac{70W}{e_M} w(70W / e_M) \quad (6.1)$$

der 70W er den basale metabolske energirate, og λ er formfaktor. Ved å variere vektfunksjonen har vi ved visuell inspeksjon funnet løsningen som passer meget godt til de eksperimentelle verdier. Troverdigheten av løsningen vil avhenge av troverdigheten til vektfunksjonen som vi finner fram til. Figur 3 viser de 5 teorikurvene for de 5 treningsmetodikkene, og de eksperimentelle datapunktene for de 4 treningsmetodikkene før og etter treningen.



Figur 3: Maksimum aerob energirate relativt til verdi før trening som funksjon av tid i dager over 8 uker når det trenes på mandag, onsdag og fredag.

■: Eksp. LT, □: Eksp. LSD, ▲: Eksp. 15/15, △: Eksp. 4x4

Teorikurver fra topp: a) 15/15 ved bruk av pulldata. b) 4x4. c) 15/15. d) LT. e) LSD.

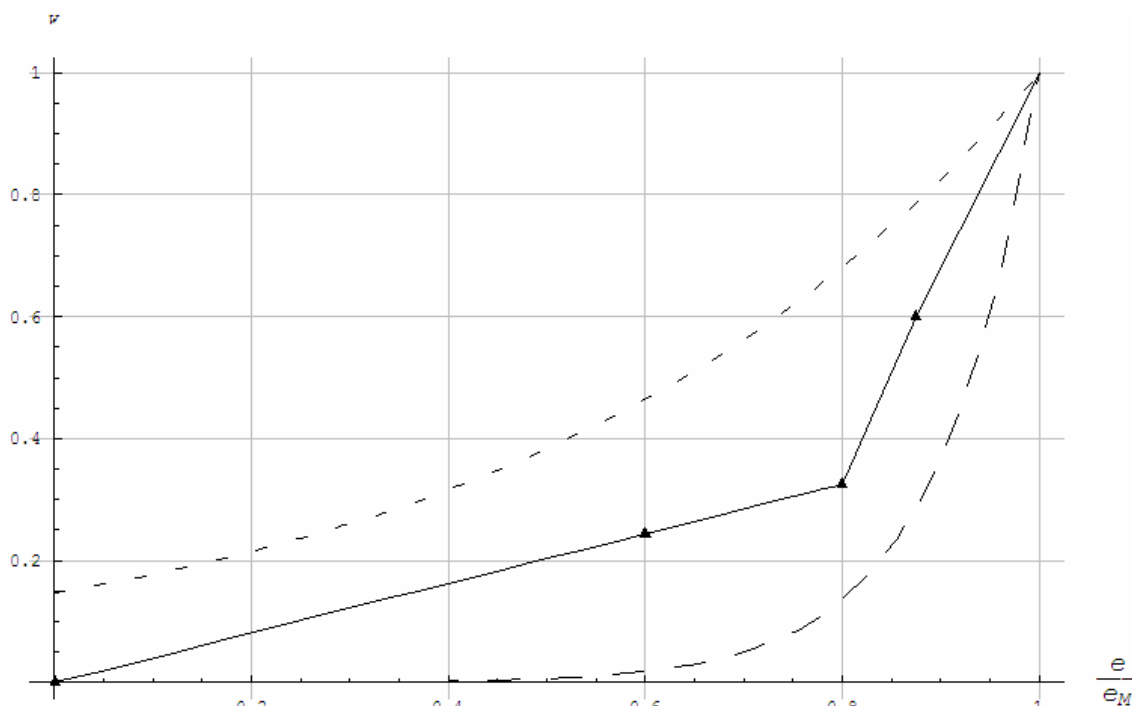
$\lambda=3$ for alle simuleringer.

Figur 3 viser at de fem teorikurvene og de fire eksperimentelle datapunktene. På mandag morgen kl 00.00 starter en tidsmåling og viser $t=0$ ved start. Det antas at startverdiene for O₂maks målt av Helgerud et al. (2007), tilsvarer verdiene på dette tidspunkt $t=0$. Vi antar videre at det trenes på mandag, onsdag og fredag ca kl 12.00. Helgerud et al. (2007) oppgir at det trenes tre ganger i uken, men ikke hvilke ukedager dette gjelder. Videre oppgir Helgerud et al. (2007) at studien går over åtte uker. Det er ikke oppgitt når i uke åtte O₂maks måles for siste gang. Vi har satt dette til $t=55$. Dvs. kl 24.00 lørdag i uke åtte.

Figur 3 viser at teorikurvene endrer seg grovt sett lineært over de åtte ukene. For LSD, LT og 4x4 er vektfunksjonen tilpasset slik at vi får overensstemmelse med de eksperimentelle punkter på dag 55. Dette låser vektfunksjonen på de sentrale treningsintensiteter (0.6, 0.8 og 0.875). Den tredje største teoretiske økning finner sted for 15/15 og gir lavere økning enn det eksperimentelle punkt (fylt trekant). Muligens har vi nå for få Trimp teoretisk. Nå var det en usikkerhet i antall Trimp for 15/15. Antall Trimp avhenger av om vi bruker pulldata eller ikke. Den teoretiske beregning gir som vi ser sterkest økning i p/p_0 for 15/15 ved bruk av pulldata. Årsaken er at pulldata for 15/15 gir flest Trimp. Det er kjent at under intervall trening kan pulldata gi for høyt energiforbruk (Ballor og Volosek 1992).

Vi legger merke til at de teoretiske kurvene er lineære på langt sikt, noe som også stemmer med muntlige uttalelser i media for Helgerud et al. (2007). Hoff sier til VG 11/7 2008: "...det er gjort eksperimenter oppimot 18 intervalløkter i uken. Vi har aldri sett dårligere respons enn en kvart prosent økning i oksygenopptaket på hver økt"

Figur 4 viser med heltrukken kurve den vektfunksjonen vi har kommet fram til. Vi viser også to alternative stiplede vektfunksjoner av type Banister-Morton med $b=1.92$ og $b=10$. Vi fant ingen løsning ved å bruke den eksponentielle formen på vektfunksjonen slik som i Banister-Morton og som angitt i (3.5). Dette gjaldt alle prøvde verdier for b .



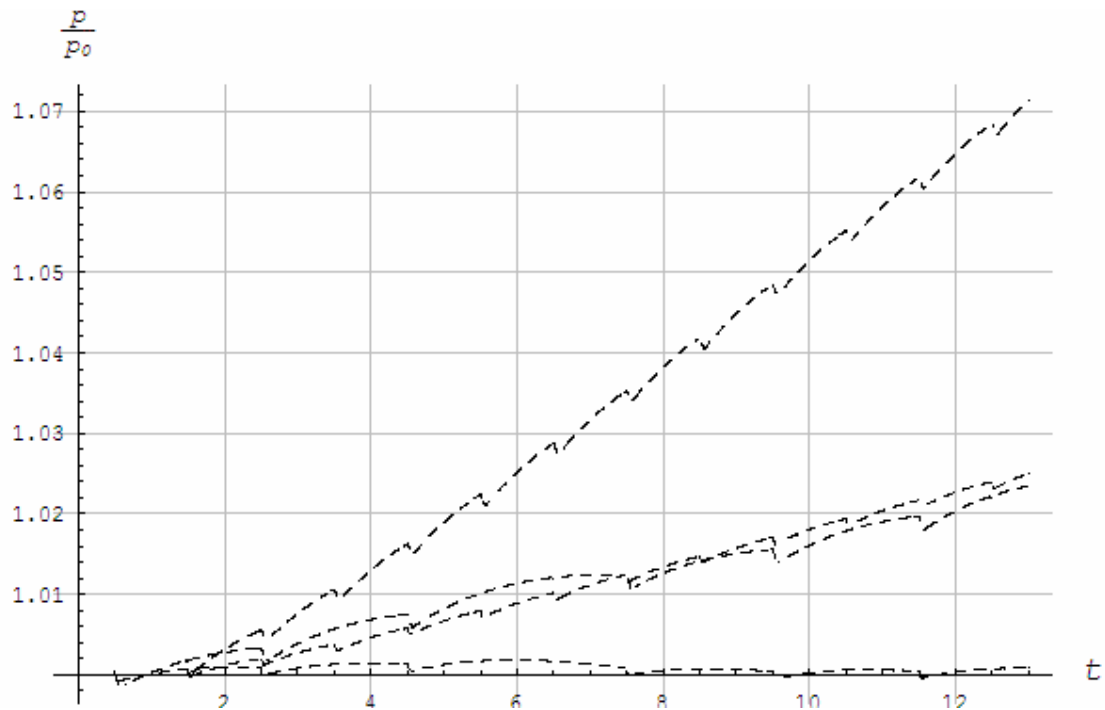
Figur 4. Tre vektfunksjoner som funksjon av fraksjon av maksimum aerob energirate. Fra topp: a) $b=1.9$ for Banister-Morton. b) Tilpasset til eksperimenter for hvile, LSD, LT og 4x4. c) $b=10$ for Banister-Morton.

I figur 4 har vi for den midterste heltrukne kurven angitt med fylte trekant de 4 eksperimentelle verdiene for vektfunksjonen for de 4 treningsintensitetene hvile ($e/e_M=0.05$, $w=0.001$), LSD ($e/e_M=0.6$, $w=0.244$), LT ($e/e_M=0.8$, $w=0.325$) og 4x4 ($e/e_M=0.875$, $w=0.6$).

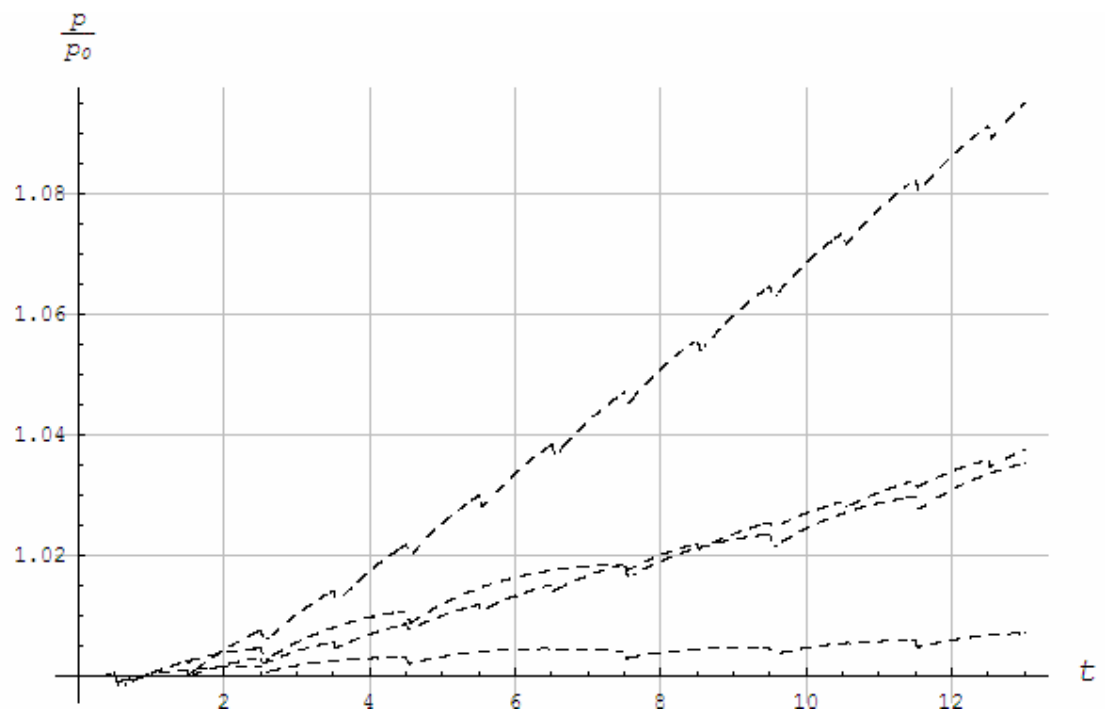
Vi har lurt på om vektfunksjonen kan relateres til hjertets slagvolum.

7 Simulering av nye treningsmetodikker

Nå som vi har estimert formfaktoren $\lambda = 3$ og etablert vektfunksjon angitt med midterste heltrukne kurve i figur 4, kan vi bruke modellen til å simulere andre treningsmetodikker. Hva skjer om utøvere trener LSD 2x 45 minutter? Hva skjer om det trenes alle dager i uken?

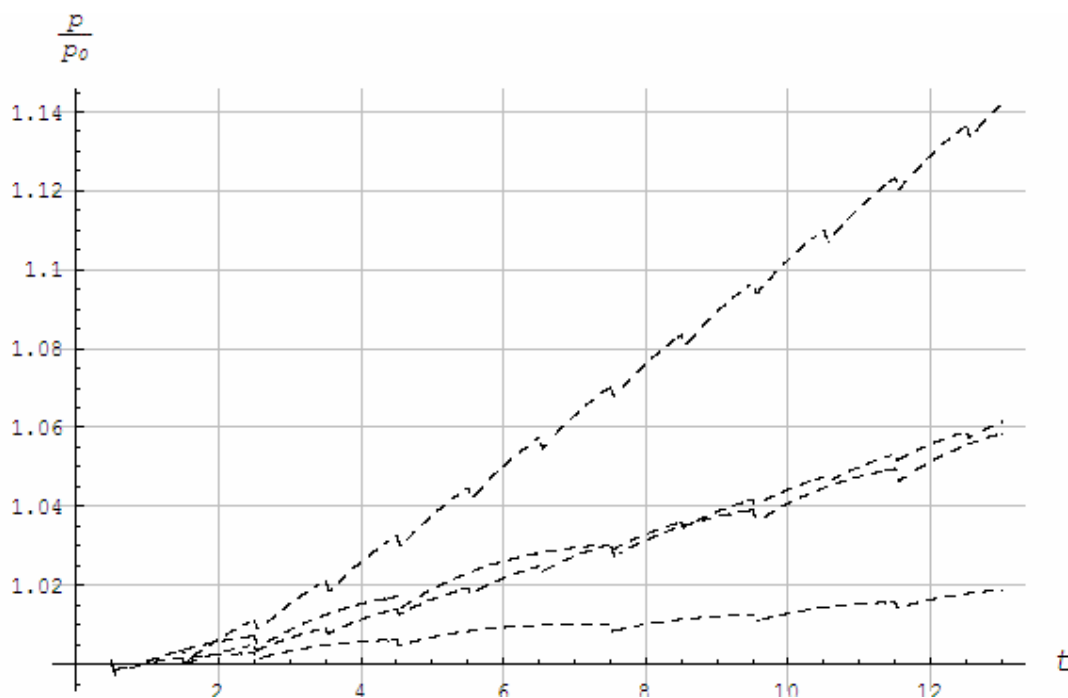


Figur 5: Maksimum aerob energirate relativt til verdi før trening som funksjon av tid i dager over 14 dager. Trening på LSD intensitet.
 Fra topp: a) Trening 2x45 minutter alle dager. b) Trening 1x45 minutter alle dager. c) Trening på 2x45 minutter på mandag, onsdag og fredag. d) Trening 1x45 minutter på mandag, onsdag og fredag.



Figur 6: Maksimum aerob energirate relativt til verdi før trening som funksjon av tid i dager over 14 dager. Trening på LT intensitet.

Fra topp: a) Trening 2x37.25 minutter alle dager. b) Trening 1x37.25 minutter alle dager. c) Trening på 2x37.25 minutter på mandag, onsdag og fredag. d) Trening 1x 37.25 minutter på mandag, onsdag og fredag.



Figur 7: Maksimum aerob energirate relativt til verdi før trening som funksjon av tid i dager over 14 dager. Trening på 4x4 intensitet.

Fra topp: a) Trening 2x38 minutter alle dager. b) Trening 1x38 minutter alle dager. c) Trening på 2x38 minutter på mandag, onsdag og fredag. d) Trening 1x38 minutter på mandag, onsdag og fredag.

Figurene 5-7 viser forskjellige alternativer.

Hoff sier til VG 11/7 2008: " Det som ikke virker på ti uker, virker heller ikke på femti uker". Dette er vi enige i. Vi har simulert og ingen av kurvene som ikke gir forbedring etter åtte uker, gir forbedring etter femti uker.

Kaas sier til VG 11/7 2008: "Praksis har gang på gang vist at høyt O2-opptak kommer etter variert og mye trening" Vi er enige i dette. Vi finner i figur 5 at selv for LSD fikk vi markert framgang hvis en LSD trente hver dag, eller LSD trente dobbelt så lenge (dvs 90 minutter) på mandag, onsdag og fredag.

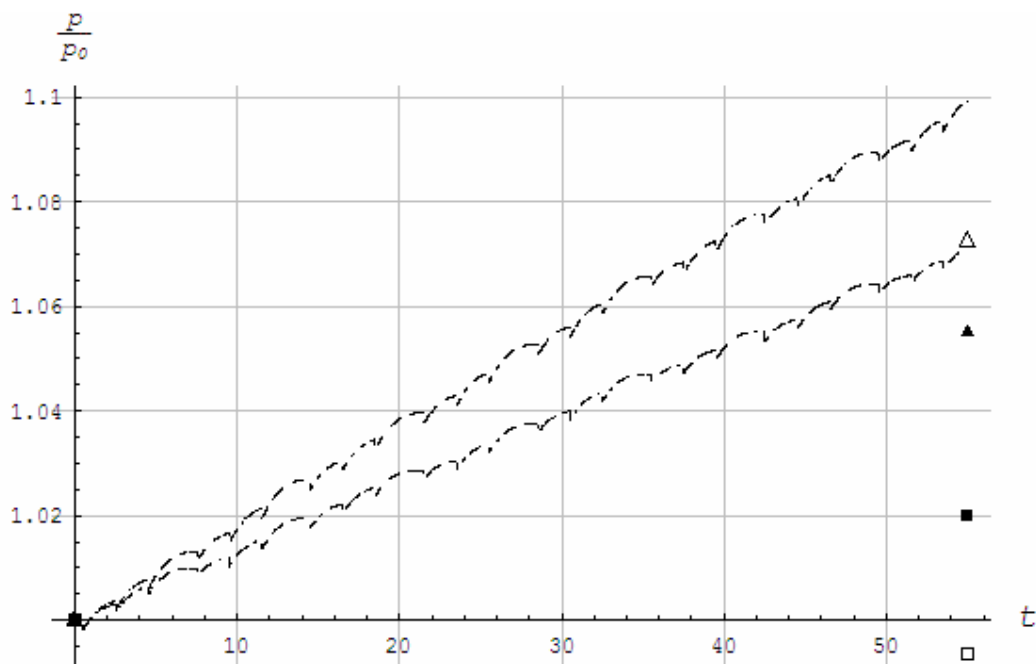
Helgerud sier til VG 11/7 2008: " Hushovd må ha et bra O2-opptak for å prestere det han gjør. Det er umulig å ha trent rolig og langt for å få til dette, det må ha vært masse intervalltrening" Vi kan fra våre simuleringer ikke støtte denne påstanden. Vi kan ikke finne at høyt O2-opptak krever intervalltrening per se.

Atle Kvålsvoll fra Olympiatoppen sier til VG 11/7 2008: "Hushovd trener 85% helt rolig utenfor konkurranser. Vi har bevis for at den type trening vi står for fungerer. Hvis han hadde trent slik de foreskriver hadde han ikke hatt en sjanse." Vi kan ikke se at han har dekning for dette. Vi kan i alle fall ikke se at høyt O2-opptak krever langkjøring per se.

Atle Kvålsvoll sier til VG 11/7 2008: "Jeg kaller det snarveismetoden. Det fungerer ikke i praksis." Vi har ikke funnet litteratordata som viser dette.

Helgerud sier til VG 11/7 2008: "I prinsippet er fire ganger fire minutters intervalltrening den viktigste treningen utholdenhetsutøvere skal gjøre". Vi kan ikke se at dette følger fra deres artikkel. Vi sier dermed ikke at den er gal, men finner ikke dokumentasjon for dette.

Vi bemerker at vi ikke finner noe optimalt m.h.p. O₂maks med intervalltrening av type 4x4. Det avgjørende er antall Trimp som samles pr dag. Gode løpere eller skiløpere klarer godt en konstant treningsintensitet på 0.875 (samme som ved 4x4) over 22.17 minutter under konkurranse. Vi kan tenke oss at en konkurrerer på mandag, onsdag og fredag. Vi tar med oppvarming på ti minutter og tre minutter nedløp som ved 4x4. Vi har tidligere beregnet energien for dette i likning (3.2) og får samme energiforbruk som under 4x4. Figur 8 viser da en forbedring rundt 10 prosent og ikke 7.5 prosent som for 4x4. Dette altså for samme energiforbruk.



Figur 8: Maksimum aerob energirate relativt til verdi før trening som funksjon av tid i dager over 8 uker.

■: Eksp. LT, □: Eksp. LSD, ▲: Eksp. 15/15, △: Eksp. 4x4

Teori fra topp: a) Trening på hurtig langkjøring (K) på 4x4 intensitet i 22.17 minutter på mandag, onsdag og fredag. b) 4x4 på mandag, onsdag og fredag.

Det er derfor uklart for oss hvorfor det hevdes at en bør bedrive intervall trening, eller kanskje 4x4 for å forbedre O₂maks. Det ville simpelt hen være svært interessant og oppsiktsvekkende om la oss si en økt på ca 600 Kcal skulle gi størst gevinst på O₂maks ved bruk av 4x4. Det ville være av vitenskapelig interesse om Helgerud et al. prøvde ut våre foreslåtte langkjørings økt. Vil den ikke gi større forbedring enn 4x4? Eventuelt hvorfor ikke?

En relevant optimaliseringsmetode kunne være å relatere til pH verdier. Hvilken metodikk gir flest Trimp for ett gitt energiforbruk, forutsatt at pH er under et gitt nivå? Nå kan 4x4 kanskje være mer optimal siden det er en forsinkelse mellom O₂ opptak og pH. Ved å bryte av slik som i 4x4 kan en oppnå høy treningsintensitet uten at pH blir for høy. Videre studier kreves virkelig på dette. Se Moxnes og Hausken (2008b).

Vår oppfatning er at resultatene hos Helgerud et al (2007) er noe av det beste som er presentert i litteraturen på trente utøvere. Studien er særs relevant, meget godt tilrettelagt og meget godt dokumentert. Der er gjort flere tilsvarende studier i litteraturen. Vi kan ikke finne at den generelt er i motstrid med annen litteratur. Å få 55 utøvere til å trene tre ganger i uken i åtte uker så hardt som de beskriver, er også meget imponerende. Vår generelle oppfatning av litteraturen er at som oftest er det for få utøvere som testes, oftest over for kort tid, og som oftest på svært dårlig trente utøvere. Ofte er også dokumentasjonen av treningen for dårlig til at den kan brukes som input til matematiske modeller.

Vi er usikre på om resultatene fra forskningen bør medføre at dagens treningsprinsipper blant idrettsutøvere endres. Helgerud et al. (2007) foreslår høy intensitet for å bedre O₂maks, men hva som er så spesielt med den intensitet, varighet og hyppighet som er valgt kommer ikke fram i artikkelen. Det er kjent at høy treningsintensitet og stor hyppighet over lang tid kan medføre overbelastning. Det er dog ikke kjent om dette har sin årsak i for høy intensitet per se, for mange Trimp, eller for stort energiforbruk. Ved overbelastning kan en utøver settes ut av spill i dager, måneder, år eller for alltid.

8 Konklusjon

Vi har relatert Helgerud et al. (2007) sin eksperimentelle studie til Moxnes og Hauskens (2008) teoretiske modell for atletisk ytelse, fitness og utmattelse. Dataene er så gode at studien er brukt til å kalibrere parametrene i modellen. Helgerud et al. (2007) testet fire treningsmetodikker, dvs langsom langdistanseløping, laktatgrenseløping, 15/15 sek intervalltrening, og 4x4 min intervall trening. 4x4 min intervall trening gir høyere treningsimpuls pr forbrukt energienhet enn de tre andre metodikkene. Denne artikkelen har presentert en 5. treningsmetodikk som er å løpe på 4x4 intensitet i 22.17 minutter. Vår teoretiske studie viser at den gir bedre virkning på O₂maks enn de andre fire metodikkene som Helgerud et al. testet. Vi håper treningsmetodikken kan utprøves og sammenliknes med 4x4.

Vi viser også teoretisk at ved å trene på LSD-intensitet alle dager i uken, og ikke bare tre ganger i uken, ville LSD gruppen økt sitt O₂maks med 2.5 prosent på åtte uker. Dette ville de også oppnådd om de trente 90 minutter og ikke 45 minutter tre ganger i uken. Vi finner intet fundamentalt optimalt med 4x4 treningen til Helgerud et al. (2007).

Takk

Takk rettes til Eldbjørg D. Moxnes og forsker Arild Skjold ved FFI for å ha lest korrektur på manuskriptet.

Referanser

Ballor DL, Volosek JA (1992) Effect of exercise to rest ratio on plasma lactate concentration at work rate above and below maximum oxygen uptake. Eur. J. Appl. Physiol. 65, 363-369.

- Banister EW, Calvert CL, Savage MV, Bach TM (1975). A system model of training for athletic performance. *Austr. J. Sports Med.*, 7(3), 57-61.
- Banister EW, Good P, Holman G, Hamilton CL (1986). Modeling the Training Response in Athletes. The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings, Vol. 3, Sport and elite performance. 7-23
- Helgerud J (1994) Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performance level in marathons. *Eur. J. Appl. Physiol.* 68, 155-161.
- Helgerud J, Høydahl K, Wang E., Karlsen T, Berg P, Bjerkå M, Simonsen T, Helgesen C, Hjort N, Back R, Hoff J (2007) Aerobic high-intensity intervals improve VO₂ max more than moderate training. *Med. Science Sports Exercise*, 39, 4, 665-671.
- Morton RH, Fitz-Clarke JR, Banister EW (1990) Modeling human performance in running. *J. Appl. Physiol.*, 69(3), 1171-1177.
- Moxnes, J.F. and Hausken, K. (2008), "The Dynamics of Athletic Performance, Fitness and Fatigue," *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, Forthcoming.
- Taha T, Thomas SG (2003) Systems modeling of the relationship between training and performance. *Sports Med.*, 33 (14),1061-1073.
- Wood RE, Hayter S, Rowbottom D, Steward I (2005) Applying a mathematical model to training adaptation in a distance runner. *Eur. J. Physiol.* , 94, 310-316.