

Treningsanbefalinger for å bedre sentrale fysiologiske faktorer i sykkelprestasjon

- Teori og praksis

Forfattere: Bent R. Rønnestad^{1,2}, Eddy Knutsen³, Kai Lexberg³, Stig Kristiansen³ og Hans Falk³

¹ Seksjon for idrettsvitenskap, Høgskolen i Lillehammer

² Olympiatoppen Innlandet

³ Norges Cykleforbund

Høringsgruppe:

Innhold

| | |
|---|----|
| 1.0 Innledning | 3 |
| 2.0 Stimulus for forbedringer av sentrale morfologiske komponenter | 6 |
| 2.1 Hjertet | 7 |
| 2.2 Kapillærene | 7 |
| 2.3 Mitokondriene | 9 |
| 2.4 Oppsummering | 10 |
| 3.0 Treningseffekter av ulike intensitetssoner | 11 |
| 3.1 Lavintensiv utholdenhetstrening (LIT) | 11 |
| 3.2 Moderatintensiv utholdenhetstrening (MIT) | 12 |
| 3.3 Høyintensiv utholdenhetstrening (HIT) | 13 |
| 3.3.1 Optimalisering av HIT | 14 |
| 3.4 Styrketrening | 18 |
| <i>3.4.1 Praktiske anbefalinger for styrketrening</i> | 21 |
| 3.5 Oppsummering | 23 |
| 4.0 Organisering av treningen | 24 |
| 6.0 Avslutning | 29 |
| Referanser | 31 |

1.0 Innledning

NCF ønsker med denne artikkelen å belyse hva vi anser som hensiktsmessig trening for utvikling av sentrale egenskaper for en syklist. Det er til dels store forskjeller på terreng og landevei i tillegg til forskjeller innenfor de to grenene Landevei strekker seg fra flate prologer (fra 3-10 km), endagsritt på opptil 300 km, etapperitt, tempoer etc. Terrengritt er i større grad en homogen idrett. Konkurransetiden er på ca 1 ½ time, med varierende teknisk vanskelighetsgrad og antall høydemeter. I internasjonale ritt er malen at hver runde er omtrent 4-5 km lang med 200-300 høydemeter per runde. I tillegg kommer sprinten som har en konkurransetid på omtrent 2 min og organiseres som en prolog og heat fram mot evt. en finale.

Det som er fellesnevneren for begge grener er at den aerobe kapasiteten må være meget høy for å prestere på internasjonalt nivå. I tillegg må den anaerobe kapasiteten være på et høyt nivå, men den er av litt mer varierende betydning avhengig av øvelse. Likevel vil vi kort komme med noen anbefalinger rundt en sentral faktor for å bedre anaerob kapasitet, nemlig styrketrening. På generelt grunnlag anbefaler vi å prioritere utvikling av aerobe egenskaper frem til man er 18 år, for deretter å supplere utholdenhetstreningen med styrketrening. Imidlertid anbefaler vi å systematisk gjennomføre generelle stabiliseringsøvelser (mage og rygg) fra tidligere alder.

Det mest sentrale i denne artikkelen er å beskrive effekten av ulike treningsmetoder og -intensiteter for utvikling av den aerobe kapasiteten samt hvordan treningen kan organiseres gjennom et treningsår. For å vurdere effektene av ulike treningsmetoder og -intensiteter vil vi se på hvordan de påvirker sentrale fysiologiske mekanismer for utholdenhetsprestasjon. Dette vil vi gjøre gjennom analyse av hva forskningslitteraturen sier og implementere kommentarer fra trenerne til noen av våre beste syklister. Det er viktig å understreke at det er flere faktorer enn aerob kapasitet som er avgjørende for resultatet den enkelte syklist oppnår i ritt. Eksempler på dette er teknikk, ernæring, mentalitet, lagsstrukturer etc.

Vi har lenge vært klar over at hovedvariablene som bestemmer treningsbelastningen; volum, frekvens og intensitet, til sammen bestemmer effekten av utholdenhetstreningen (Wenger & Bell 1986). Landeveissyklister på elitenivå trener ~ 800-1000 timer og sykler ~ 25 000-35 000 km per år (Schumacher & Mueller 2002, Zapico et al. 2007, Jeukendrup et al. 2000, Fernández-García et al. 2000). Unge syklister har selvfølgelig et noe lavere treningsvolum,

men uansett ser det ut til å være et relativt stort krav til totalt treningsvolum for å optimalisere prestasjonsutviklingen. Det vanskelige spørsmålet er imidlertid hvordan treningsvolumet bør fordeles på de ulike intensitetssonene for å få optimal prestasjonsutvikling.

Treningsanbefalingene i denne artikkelen er basert på en blanding av forskningsbaserte funn vedrørende hvordan sentrale faktorer for prestasjon blir påvirket av de ulike treningsintensitene og –volum samt eksempler fra hvordan noen av våre beste syklister trener. Det er viktig å være klar over at forskningsresultater oftest presenterer gjennomsnittsdata, mens svært få av oss representerer akkurat gjennomsnittet. Likevel mener vi at forskningen kan hjelpe oss å øke sannsynligheten for å designe et treningsprogram der vi oppnår det vi ønsker.

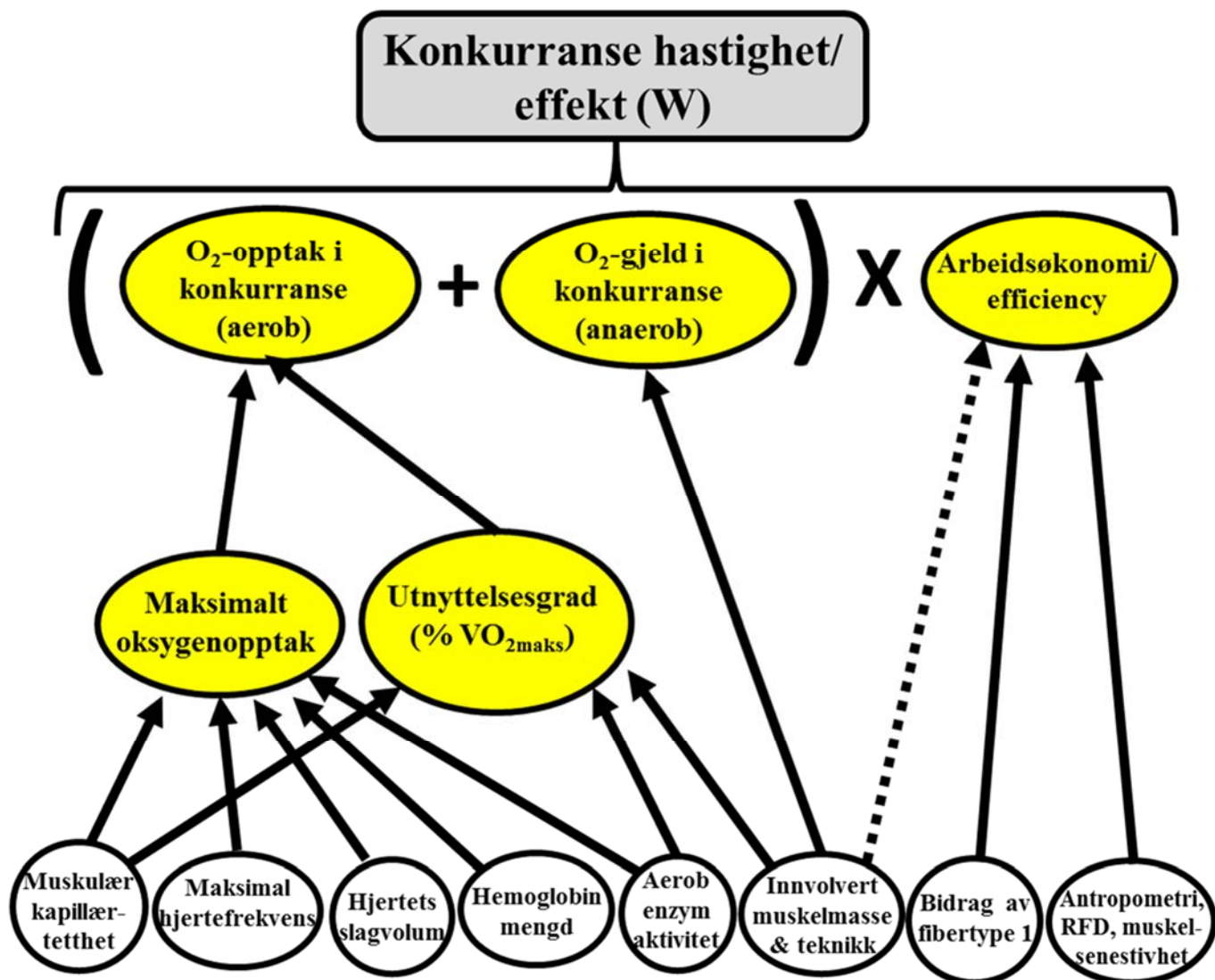
Utholdenhetsprestasjon av varighet over 10 minutter er i hovedsak bestemt av det maksimale oksygenopptaket (VO_{2maks}), hvor stor andel av VO_{2maks} vi klarer å utnytte under konkurransen (utnyttingsgraden – oftest estimert som laktatterskel i prosent av VO_{2maks}) og arbeidsøkonomien¹ (Joyner & Coyle 2008). Endringer i disse tre hovedfaktorene blir bestemt av flere ulike komponenter i kroppen (figur 1). Tre morfologiske² komponenter som er sentrale når allerede godt utholdenhetstrete personer forbedrer hovedfaktorene bak bedret prestasjon, er hjertet (spesielt slagvolumet), mitokondriene³ og kapillærtettheten⁴ i de arbeidende musklene. Sammenhengen mellom viktige komponenter i kroppen, sentrale prestasjonsbestemmende faktorer og selve utholdenhetsprestasjonen er skissert i figur 1. Denne sammenhengen danner den konseptuelle tankegangen bak våre treningsanbefalinger.

¹ Arbeidsøkonomi ved sykling kan defineres som energikravet på en gitt submaksimal arbeidsbelastning. Energiforbruket måles oftest via oksygenopptak. Det betyr at til lavere oksygenopptak på en gitt arbeidsbelastning til bedre arbeidsøkonomi.

² Morfologi innen biologi betegner både kroppsbygningen til en organisme og faget som studerer organismers kroppsbygninger.

³ Organeller i muskelcellene hvor aerob energifrigjøring finner sted.

⁴ De tynneste blodårene som ligger rundt hver muskelcelle og som tilfører bl.a. oksygen til cellene og transporterer bort avfallsstoffer.



Figur 1 Skisse av samspillet mellom sentrale morfologiske komponenter og deres sammenheng med viktige fysiologiske faktorer for sykkelprestasjon (modifiserte fra Joyner & Coyle 2008).

I den første delen av denne artikkelen vil vi kort presentere hva forskningen sier er sentrale stimuli for å bedre funksjonen og/eller mengden til hjertet, mitokondriene og kapillærene og hvilke konsekvenser dette får for treningseffekten i de ulike intensitetssonene. Dette vil så bli sammenlignet med beste praksis fra noen av våre beste syklister. Deretter vil vi fokusere på hvordan treningen bør organiseres og periodiseres for å optimalisere forholdene for prestasjonsfremgang. I Norge er vi godt kjent med Olympiatoppens 5-delte intensitetszone for utholdenhetstrening. I forskningslitteraturen er denne intensitetskalaen ofte 3-delt; lav- (LIT), moderat- (MIT) og høy (HIT) arbeidsintensitet. Tabell 1 viser forholdet mellom Olympiatoppens intensitetssoner, den 3-delte skalaen og Coggans mye brukte % av

funksjonell terskel (FTP). Siden mesteparten av den internasjonale forskningen enklest karakteriseres innenfor den 3-delte skalaen, forholder vi oss til den i denne artikkelen.

Tabell 1 Forholdet mellom Olympiatoppens 5-delte intensitetsskala, prosent av maksimalt oksygenopptak, laktatverdier (målt med Lactate Pro eller Biosen), prosent av funksjonell terskel (FTP), 3-delt intensitetsskala og Borg skår.

| OLT I-soner | % av VO_{2maks} | % av HF_{maks} | $[La^-]$ (Mmol·L ⁻¹) | ~ % av FTP | 3-delt intensitetsskala | Borg skår (6-20 skala) |
|-------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 45 – 65 | 60 – 72 | 0,8 – 1,5 | 56 – 76% | Lav intensitet (LIT) | 9-12 |
| 2 | 65 – 80 | 72 – 82 | 1,5 – 2,5 | 77 – 88% | | 13-14 |
| 3 | 80 – 87 | 82 – 87 | 2,5 – 4,0 | 89 – 100% | Moderat intensitet (MIT) | 15-16 |
| 4 | 87 – 94 | 87 – 92 | 4,0 – 6,0 | 101 – 113% (~12 min all-out) | Høy intensitet (HIT) | 17-20 |
| 5 | 94 – 100 | 92 – 97 | 6,0 – 10,0 | 114 – 120% (~5 min all-out) | | 17-20 |

2.0 Stimulus for forbedringer av sentrale morfologiske komponenter

Kunnskapen om de molekylære mekanismene bak treningstilpasninger i hjertet, mitokondriene og kapillærene har økt betraktelig i løpet av de siste årene. For eksempel har vi blitt klar over flere sentrale signalveier inne i muskelcella. Likevel er det mange detaljer som fortsatt er uavklart. Derfor vil vi her ikke fokusere på kompliserte signalveier og mekanismer inne i muskelcella, men heller de overordnede treningsinduserte stimuli som cellene registrerer og som til slutt medfører bedret funksjon til hjertet, mitokondriene og kapillærene. De viktigste stimulus er 1) økt mekanisk belastning (som en følge av økt arbeidsintensitet for muskelcella eller økt blodgjennomstrømning i kapillærene) 2) en økning i konsentrasjonen av frie radikaler⁵ (som skjer ved økt aerob energiomsetning i muskelcellen) 3) en økning i

⁵ Frie radikaler er et biprodukt fra blant annet kroppens energiomsetning.

muskelcellens kalsiumkonsentrasjon ($[Ca^{2+}]^6$; som øker ved økende kraftutvikling) 4) økt konsentrasjon av ADP og AMP (hhv. $[ADP]$ og $[AMP]$) og redusert glukosekonsentrasjon ($[glukose]$) (som skjer ved økende energiomsetning i muskelcella).

2.1 Hjertet

Siden hjertets maksimale minuttvolum⁷ har en høy sammenheng med VO_{2maks} (Ekblom 1968), er det en generell forståelse for at O_2 -leveransen til de arbeidende musklene er den viktigste faktoren for VO_{2maks} . Vi ser at en økning av O_2 -leveransen medfører en økning i VO_{2maks} (Bassett & Howley 2000). Eliteutholdenhetsutøvere kan i enkelte tilfeller oppnå et maksimalt minuttvolum som er dobbelt så stort som hos en utrent person. Minuttvolumet er produktet av hjertets slagvolum og hjertefrekvens. Hovedforskjellen på eliteutøvere og utrente personer er det maksimale slagvolumet (Blomquist & Saltin 1983). Av strukturelle tilpasninger i hjerter, ser den funksjonelle forskjellen ut til å hovedsakelig forklares av et større venstre ventrikkel volum og en noe tykkere hjertemuskulatur (Scharhag et al. 2002). Konsekvensen av dette er at hjertet kan fylles med mer blod og pumpe ut mer blod per kontraksjon. Det er vanskelig å forske på de molekylære mekanismene bak disse tilpasningene hos eliteutøvere, siden man ikke bør ta vevsprøver direkte fra friske menneskers hjerte. Likevel kan studier på dyr og cellekulturer gi oss et innblikk i mulige mekanismer. Det ser ut som økt mekanisk belastning på hjertet, økt $[Ca^{2+}]$ og økt konsentrasjon av hormonet IGF-1⁸ (samt aktivering av en sentral ko-transkriptor; *PGC-1 α* ⁹) er sentrale stimuli for remoduleringen av hjertet ved utholdenhetstrening (McMullen et al. 2003, DeBosch et al. 2006, Patten et al. 2012, Lehman et al. 2000, Ellison et al. 2012, Bernardo et al. 2010). Felles for disse stimuli er at de øker ved økende arbeidsintensitet.

2.2 Kapillærene

Utholdenhetstrening forbedrer ikke bare hjertets evne til å pumpe ut blod, men det forbedrer også blodets ledningssystem gjennom blant annet økt kapillærtetthet. Uten økt kapillærtetthet, ville et økt minuttvolum ført til at blodet går raskere gjennom arbeidende muskulatur og

⁶ $[Ca^{2+}]$ i muskelcellen er sentral for den kraftutvikling; for å øke kraftutviklingen må $[Ca^{2+}]$ økes.

⁷ Hjertets minuttvolum er hvor mange liter hjertet pumper ut på et minutt.

⁸ IGF-1 er et anabolt hormon som får en kortvarig akutt økt konsentrasjon i blodet ved bl.a. høyintensiv utholdenhetstrening.

⁹ PGC-1 α er et protein som fungerer som en sentral ko-transkriptor. Det betyr at PGC-1 α er viktig for å regulere uttrykket av mange sentrale gener, spesielt de som er involvert i energistoffskiftet.

således medført dårligere utvekslingsforhold mellom blod og muskulatur. Økt kapillærtetthet sørge derfor blant annet for gode utvekslingsforhold mellom arbeidende muskler og blod tross et større minuttvolum (Saltin 1988). En slik bedring av utvekslingsforholdene for bl.a. gasser, næringsstoffer og avfallsstoffer mellom arbeidende muskler og blod bedrer utholdenhetsprestasjonen (Saltin & Rowell 1980). Det har blitt observert at elite utholdenhetsutøvere har 3-4 ganger flere kapillærer per muskelfiber enn utrente personer (Saltin 1988b). Vanligvis ser man typisk at muskelfibertype 1¹⁰ har flere kapillærer rundt seg enn muskelfibertype 2¹¹ (Brodal et al. 1977). Musklenes blodgjennomstrømning øker med økende arbeidsintensitet, og det har blitt estimert at blodgjennomstrømningen kan øke omtrent 100 ganger fra hvile til maksimalt arbeid i kne-ekstensjonsmusklene (Saltin et al. 1998). Økt blodgjennomstrømning øker trykket mot kapillærveggene, noe som via ulike signalveier er med på å stimulere kapillariseringen (via bl.a. økt produksjon av nitrogen oksid (NO); Hudlicka et al. 2000). Masterregulatoren PGC-1 α er ikke bare involvert i remoduleringen av hjertet, den kan også aktivere sentrale faktorer for økt kapillarisering (Arany et al. 2008 Lu et al. 2012, Chinsomboon et al. 2009, Pogozelski et al. 2009, Tadaishi et al. 2011b). Andre stimuli som er sentrale for økt kapillarisering, og som øker med økt arbeidsintensitet, er økt [Ca²⁺], økt laktatkonsentrasjon og redusert oksygentrykk i kapillærene (Fukumura et al. 2001, Hunt et al. 2007, Wahl et al. 2014, Hoier & Hellstein 2014).

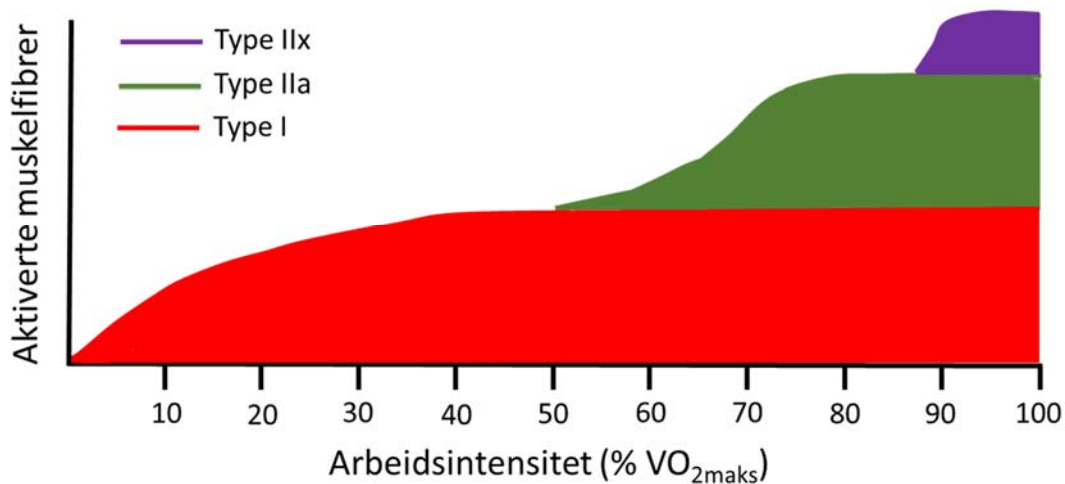
Ved gjennomgang av de nevnte sentrale stimulusene for økt kapillarisering, kan det se ut som høyere arbeidsintensiteter øker aktiveringen av disse (Jensen et al. 2004, Wahl et al. 2011, Wahl et al. 2014). Videre kan vi, basert på Henneman`s rekrutteringshierarki¹² (Henneman et al. 1965), tenke oss at høyere arbeidsintensitet gir et mer gunstig stimulus for kapillarisering rundt muskelfibertype 2. Videre skal vi være klar over at i skjelletmusklene ligger de ulike fibertypene oftest om hverandre (Sjöström et al. 1992) og dette medfører at flere kapillærer rundt en fiber kan gi bedre utvekslingsforhold for nærings- og avfallsstoff for nabofiberen. Dette betyr at i tillegg til å bedre diffusjonsforholdene for fibertype 2, kan bedret

¹⁰ Muskelfibertype 1 er i utgangspunktet mest utholdende med høy kapillærtetthet, høyt myoglobininnhold (O₂-lager) og høyt mitokondriinnhold. Flere studier tyder på at denne fibertypen er mer energiøkonomisk enn muskelfibertype 2.

¹¹ Muskelfibertype 2 har i utgangspunktet en noe lavere utholdenhet med noe lavere kapillærtetthet, lavere myoglobininnhold og lavere mitokondriinnhold enn muskelfibertype 1. Det ser imidlertid ut som de aerobe egenskapene til muskelfibertype 1 og 2 kan bli relativt lik etter lang tids utholdenhetstrening.

¹² Henneman`s rekrutteringshierarki sier at vi først rekrutterer fibertype 1 og deretter må øke arbeidsintensiteten, eller utmatte fibertype 1 før fibertype 2 rekrutteres

kapillarisering rundt denne fiberen også bedre diffusjonsforholdene til nabofibrene (som kan være fibertype 1) og således være gunstig også for langvarig arbeid med lavere intensitet (selv uten at fibertype 2 er aktivert). Hos enkelte utholdenhetsutøvere har det også blitt observert like stor kapillarisering hos type 1 som type 2 muskelfibrer (Crenshaw et al. 1991). Derfor kan bedret kapillarisering i seg selv og ikke minst rundt muskelfibertype 2 være et argument for HIT. Det ser ut som noen muskelfibrer av typen 2A aktiveres allerede ved 75% av VO_{2maks} og at arbeidsintensiteten må opp i $\sim 90\%$ av VO_{2maks} for at alle muskelfibrene skal være aktivert (Se figur 2; Altenburg et al. 2007, Gollnick et al. 1974, Greig et al. 1985, Vøllestad et al. 1984).



Figur 2 Akutt effekt av arbeidsintensitet, målt som prosent av maksimalt oksygenopptak, på aktivering av de ulike muskelfibertypene. Husk at varigheten på de ulike intensitetene også kan påvirke graden av aktiverte muskelfibrer. Figuren er utarbeidet basert på data fra Altenburg et al. 2007, Gollnick et al. 1974, Greig et al. 1985, Vøllestad et al. 1984; 1985.

2.3 Mitokondriene

Selv om mange regner økningen i leveranse av oksygenrikt blod til de arbeidende musklene som den viktigste tilpasningen for bedret utholdenhetsprestasjon, så øker også skjelettmusklene sin evne til å ta opp oksygen og produsere ATP¹³. Dette skjer først og fremst gjennom økning mitokondrie mengde og/eller kvalitet (Jacobs & Lundby 2013). Sentrale signaler for denne tilpasningen i musklene er en økning i $[Ca^{2+}]$ (som signaliserer økt

¹³ Adenosintrifosfat (ATP) dannes ved en kobling av tre fosfatgrupper til molekylet adenosin. Bindingene mellom fosfatgruppene er spesielt energirike og når en fosfatgruppe blir spaltet frigjøres energi og forenklet sagt har da ATP blitt til ADP og energi.

kontraktile aktivitet) og en økning i [ADP] og [AMP]¹⁴ samt redusert [glukose] (alle tre signaliserer økt energiomsetning i cella). Disse signalene fører blant annet til økt uttrykk av hovedregulatoren for nydannelse av mitokondrier; PGC-1 α (Egan & Zierath 2013, Rose et al. 2006, Wu et al. 2002). Økninga i [ADP] og [AMP] er stor, men av kortere varighet ved HIT, mens varigheten er lenger ved LIT, men da er økningen bare av moderat karakter (Gibala et al. 2012). Det ser ut som aktivering av PGC-1 α via både [Ca²⁺] og energiomsetningssignalene øker ved økt intensitet på utholdenhetsøkta (Cochran et al. 2014, Edgett et al. 2013, Egan et al. 2010, Hardie 2011, Nordborg et al. 2010, Popov et al. 2014, Tadaishi et al. 2011, Tobina et al. 2011, Wen et al. 2014, Wojtaszewski et al. 2000). Basert på litteraturen, ser vi altså at økt arbeidsintensitet ser ut til å gi et bedre stimulus for mitokondrie dannelse.

2.4 Oppsummering

Vi har nå sett at transkripsjonsfaktoren PGC-1 α spiller en meget sentral rolle for både økning av hjertets kapasitet (Lehman et al. 2000, Patten et al. 2012), kapillariseringen (Arany et al. 2008, Lu et al. 2012, Chinsomboon et al. 2009, Tadaishi et al. 2011b,) og mitokondrie dannelsen (Wu et al. 2002). Aktivering av denne masterregulatoren ved utholdenhetstrening ser derfor ut til å være essensielt for å optimalisere utholdenhetsprestasjon. Videre er det også interessant å se at mange av de samme signalene¹⁵ er sentrale for både økning av hjertets kapasitet, kapillarisering og mitokondrie dannelsen. Vi ser også at på generelt grunnlag kan vi si at disse signalene øker ved økende arbeidsintensitet. Dette stemmer også overens med de mange studiene som rapporterer en akutt større økning en eller flere av disse signalene etter HIT vs. LIT (Cochran et al. 2014, Edgett et al. 2013, Egan et al. 2010, Hardie 2011, Jensen et al. 2004, Jenssen et al. 2014, Tadaishi et al. 2011, Tobina et al. 2011, Wahl et al. 2011, Wahl et al. 2014, Wen et al. 2014, Wojtaszewski et al. 2000). Selv om det akutte stimuliet ser ut til å være mer gunstig til høyere arbeidsintensitet, er det ikke nødvendigvis slik at til høyere intensitet til bedre treningstilpasninger. Det er for eksempel ikke observert noen særlig forskjell i signalisering for kapillarisering mellom et arbeid på 90% og 150% av arbeidsbelastning ved VO_{2maks} (Jensen et al. 2004).

¹⁴ Ved økt arbeidsintensitet øker omsetningen av ATP. En konsekvens av dette, er at konsentrasjonen av ADP og AMP øker.

¹⁵ Redusert [glykogen] og en økning i [ADP], [AMP], [NO & ROS] og [Ca²⁺].

3.0 Treningseffekter av ulike intensitetssoner

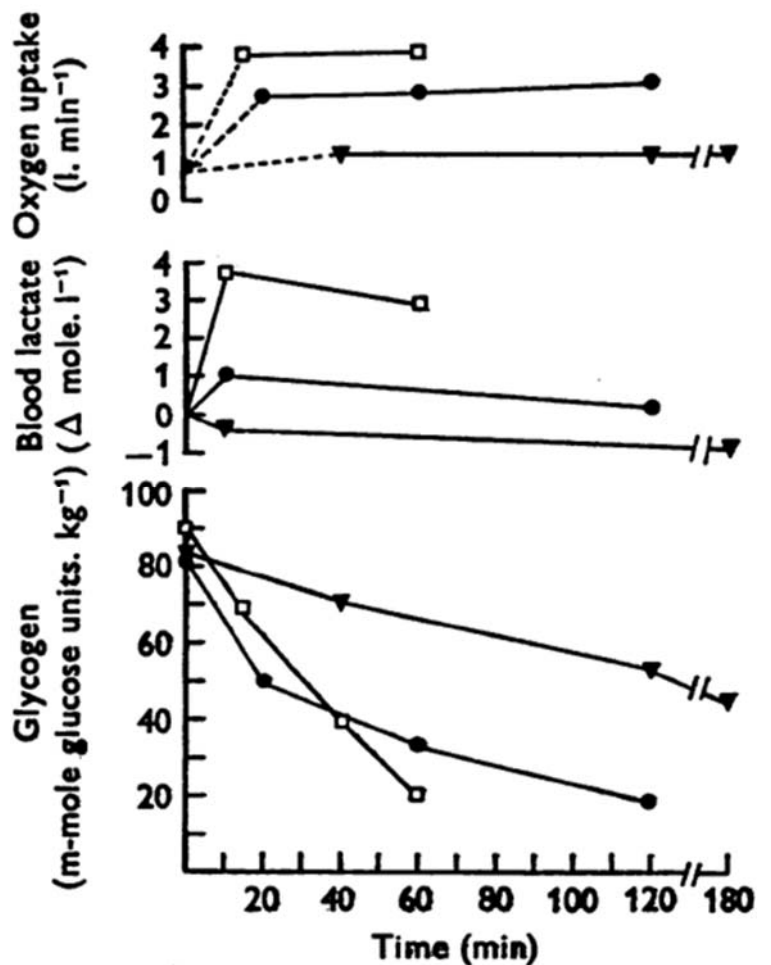
Vi vet at syklisten gjennomfører et stort treningsvolum og da må en relativt stor del av denne treningen gjennomføres med lav intensitet. Et stadig tilbakevendende tema er om mye mengde med lav arbeidsintensitet kan kompensere for lavere signalering? Videre ble en klassisk problemstilling presentert på 1980-tallet: «*Hva er mest effektiv av en arbeidsintensitet på 90% av VO_{2maks} i 40 min eller ~100% av VO_{2maks} i 16 minutter?*» (Åstrand & Rodahl 1986). Vi skal i dette kapitlet se nærmere på den forskningen som er gjennomført på effekten av å trene på ulike arbeidsintensiteter hos utholdenhetstrenerne personer.

3.1 Lavintensiv utholdenhetstrening (LIT)

Det har blitt foreslått at det trengs relativt store mengder med LIT for å optimalisere utholdenhetsprestasjonen hos godt utholdenhetstrenerne personer (e.g. Fiskerstrand and Seiler 2004; Guellich et al. 2009). Elite utøvere med lang konkurransevarighet ser ut til å ha flere treningstimer og en høyere utnyttingsgrad enn utøvere med kortere konkurransevarighet (Basset & Howley 2000). Det har blitt foreslått at et stort LIT treningsvolum kan være viktig for å både kunne arbeide på relativt høy intensitet over lengre tid (Coyle et al. 1988) og for å optimalisere restitusjonen fra høyintensivt arbeid (Seiler et al. 2007).

Etter en aktiv avkoplingsperiode har det blitt funnet at 12 uker med fokus på LIT (64-75% av VO_{2maks}) førte til en bedre terskelhastighet enn å gjennomføre ~70% LIT og ~30% HIT (Ingham et al. 2008). En interessant publikasjon på det tyske laget som satte verdensrekord på 4000 m under OL i 2000 viser at syklistene syklet 29-35 000 km gjennom det siste året. Det som kanskje er overraskende er at 94% av treningen ble gjennomført som LIT (50-60% av VO_{2maks}), 4% som MIT og 2% som HIT (Schumacher & Mueller 2002). Varigheten på LIT øktene til de tyske syklistene var 3-8 timer. Selv om deltagelse i ritt ikke er inkludert i denne intensitetsfordelingen, ser det ut som et stort volum av LIT *kan* føre til meget gode prestasjoner. Det er imidlertid viktig å være klar over at varigheten på LIT øktene, samt om du er høyt eller lavt i intensitetssonen, sannsynligvis er viktig for om du får de tilpasningene du ønsker. Allerede i tidlig på 1970-tallet ble det vist at 3 timer sykling på lav intensitet førte til minimal aktivering av sentrale stimulus for treningstilpasninger i kapillærene og mitokondriene som [glykogen], [laktat] og energiomsetning (Gollnick et al. 1974, figur 3). Det var også et minimalt mekanisk stimulus og nesten ingen aktivering av fibertype 2.

Imidlertid viste samme studie at høyere arbeidsintensitet over en kortere periode medføre en tydelig aktivering av disse stimuli (figur 3). Av dette ser vi viktigheten av å være bevisst intensiteten på langturene. Hvis målet med økta er å påvirke kapillærene og/eller mitokondriene og du sykler med meget lav intensitet bør lav intensitet kompenseres med økt varighet på økta (da dette etter lengre tid vil redusere [glykogen]). Videre er det viktig å være klar over at den tradisjonelle kaffepausen på langturene kan gjøre store skader på det planlagte treningsstimulus siden den sannsynligvis er med på å gjenopprette homeostasen i muskulaturen mtp. [glykogen], [ADP], [AMP], [NO & ROS], [Ca²⁺] samt redusere aktiveringen av muskelfibertype 2.



Figur 3 Endringer i oksygenopptak (øverst), laktatkonsentrasjon i blodet (midten) og glykogenkonsentrasjon (nederst) under 3 timers sykling på 31% av VO_{2maks} (sorte trekante), 2 timer sykling på ~64 % av VO_{2maks} (sort sirkel) og 1 time sykling på ~83 % av VO_{2maks} (hvite firkanter). Forsøkspersonene var moderat trente menn (figurer er modifisert etter Gollnick et al. 1974).

Det er også viktig å være klar over at det i forskningslitteraturen er det stor enighet om at LIT må kombineres med trening på høyere intensitet for å optimalisere treningstilpasningene

(Lehmann et al. 1992, Esteve-Lanao et al. 2007, Shepard 1968; Fox et al. 1973; Tanaka et al. 1986; Wenger & Bell 1986; Yoshida et al. 1990; Midgley et al. 2006 Londeree 1997, Costill et al. 1988, Hickson et al. 1981)

3.2 Moderatintensiv utholdenhetstrening (MIT)

Det har blitt observert at godt trente junior og senior utholdenhetsutøvere bedrer terskelhastighet, prestasjon og/eller mengde aerobe enzym etter 8-12 uker trening med fokus på terskelintensitet (~80-90% av VO_{2maks}) sammenlignet med en gruppe som fokuserte på LIT

intensitet (~60-75% av VO_{2maks} ; Enoksen et al. 2011, Evertsen et al. 1999, Evertsen et al. 2001, Sandbakk et al. 2011, Tanaka et al. 1986). Dette stemmer overens med at de sannsynligvis fikk større stimulus for å kunne oppnå gunstige tilpasninger på mitokondriene og kapillærene. Erfaringsmessig vet vi at MIT er en intensitet (~FTP) som mange syklister benytter i sitt treningsarbeid. Verdensrekordholder i maraton, Paula Radcliff, gjennomførte en ukentlig økt med MIT (Jones 2006). Som LIT, bør også MIT suppleres med de andre delene av intensitetskontinuumet. Oftest er det ikke optimalt at MIT er den høyeste intensiteten gjennom vintertreningen. Du bør også inkludere HIT i perioden desember-mars.

MIT og HIT øker gjennomføres ofte som intervalløkter. Formålet med dette er hovedsakelig å øke varigheten av det akutte belastningen til over den tiden man kunne jobbet kontinuerlig (uten pause) før man er utmattet (Daniels & Scardina 1984). Det er imidlertid viktig å være klar over at hvis du gjennomfører en økt med «terskelintervaller» på en arbeidsintensitet du kunne syklet kontinuerlig på i 60 minutter og du deler den inn 6 x 10 minutters drag, så vil du få et lavere treningsstimulus enn om du syklet sammenhengende i 60 minutter på denne intensiteten. Det vil at si lavere aktivering av de sentrale signalene for tilpasning til utholdenhetstrening som [glykogen], [ADP], [AMP], [NO & ROS] og $[Ca^{2+}]$ og aktiveringen av muskelfibertype 2. Derfor anbefaler vi at den totale varigheten av intervalldragene overstiger den maksimale tiden man klarer å sykle sammenhengende på den intensiteten.

Kommentarer fra trenerne til noen av våre beste syklister:

Intervalløktene som anbefales i dette intensitetsområdet karakteriseres av draglengder fra 6 til 20 minutter og det presiseres at pulsfallet ikke bør være så stort i «pausene» mellom dragene. Det nevnes også at enkelte drag bør være litt over terskelintensitet og pyramideintervaller kan tilføre en variasjon i økta som gjør den lettere å gjennomføre. Det rapporteres også om gode erfaringer med kontinuerlig arbeid i 30-60 minutter på denne intensiteten.

3.3 Høyintensiv utholdenhetstrening (HIT)

Når godt trente utholdenhetsutøvere har gjennomført en lengre treningsperiode med fokus på lav til moderat treningsintensitet, legger til 2-3 ukentlige HIT økter, ser vi en relativt tydelig forbedring av sentrale fysiologiske prestasjonsfaktorer, samt bedring i tempoprestasjon av ulik varighet etter 2-8 uker (Acevedo & Goldfarb 1989, Bangsbo et al. 2009, Gaskill et al. 1999,

Lindsay et al. 1996, Laursen et al. 2002, Lehmann et al. 1992, Mikesell & Dudley 1984, Sandbakk et al. 2013, Smith et al. 1999, Smith et al. 2003, Stepto et al. 1999, Westgarth-Taylor et al. 1997, Weston et al. 1997). Viktigheten av å inkludere HIT i treningene vises også ved at det er funnet en meget god relasjon mellom treningsintensitet og prestasjonsparametere hos eliteutøvere innen ulike utholdenhetsidretter (Mujika et al. 1995, Billat et al. 2003). Som LIT og MIT, bør også HIT suppleres de andre delene av intensitetskontinuumet for å sikre optimal prestasjonsutvikling. Selve HIT økta kan struktureres på mange ulike måter, der hovedvariablene er draglengde (og intensitet), pause lengde (og intensitet) og antall drag. I neste delkapittel skal vi se nærmere på konsekvensene av ulike måter å strukturere HIT økten på.

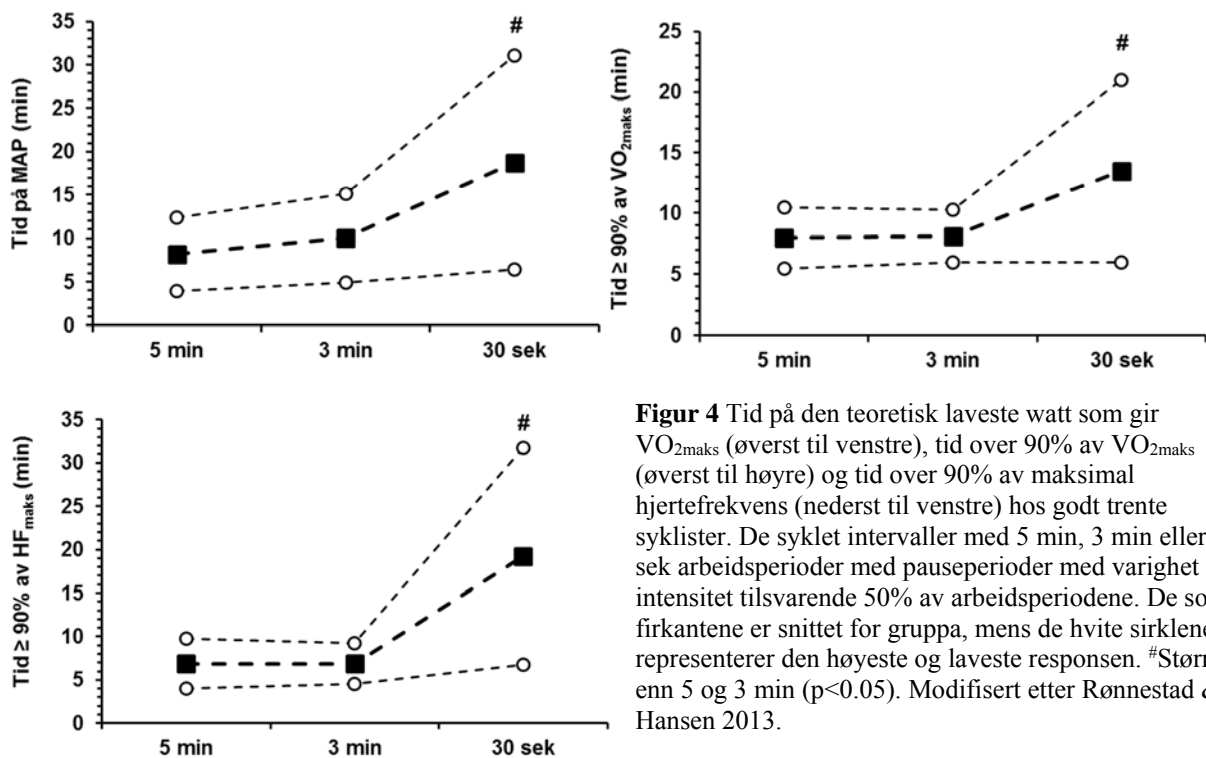
3.3.1 Optimalisering av HIT

HIT gjennomføres ofte som intervaller med repeterte arbeidsperioder mellom 30 sek til 8 minutters varighet og 15 sek til 4 minutters pause med ingen til moderat arbeidsintensitet innimellom. Det er derfor veldig mange måter å strukturere en HIT økt på. Sannsynligvis vil strukturen på HIT økta påvirke det akutte stimuliet og derigjennom treningstilpasningene.

Sandbakk og kolleger (2013) sammenlignet effekten å kombinere LIT med to ukentlige HIT økter gjennom 8 uker hos godt trente utholdenhetsutøvere. En gruppe gjennomførte HIT øktene med 2-4 minutters draglengde og total varighet på 15-20 min, mens den andre gjennomførte 5-10 minutters draglengde og total varighet på 40-45 minutter. HIT øktene til begge gruppene ble gjennomført med høyest mulig intensitet. Begge gruppene økte VO_{2maks} , mens bare gruppen med lengst draglengde forbedret prestasjon og utnyttelsesgrad (målt som oksygenopptak ved terskel). Lignende funn er gjort hos mosjonistsyklister som kombinerte LIT med enten 4 x 4 min, 4 x 8 min eller 4 x 16 min intervaller (Seiler et al. 2013). Alle intervallene ble gjennomført med høyest mulig intensitet. Gruppen som gjennomførte 4 x 8 minutters intervaller fikk de beste fysiologiske- og prestasjonstilpasningene. Siden begge disse studiene gjennomførte intervallene med høyest mulig intensitet, vet vi at den korteste draglengden gav høyest arbeidsintensitet og dermed den største endringen i sentrale stimulus for tilpasninger til utholdenhetstrening. Det ser imidlertid ut til at litt lavere intensitet og signalering kan kompenseres med økt varighet på signaleringen og dermed bedre tilpasninger. Videre er det viktig å huske på at siden alle intervallkombinasjonene ble utført med høyest

mulig intensitet, noe som ifølge Henneman's rekrutteringshierarki skal sikre at samtlige fibertyper er rekruttert og således blir stimulert. I den sistnevnte studien ble det observert at tid på ~90% av HF_{maks} var omtrent dobbelt så lang hos 4 x 8 min gruppen (med best fremgang) som hos 4 x 4 min gruppen. Selv om det ikke nødvendigvis er samme forhold mellom prosentandel av HF_{maks} og VO_{2maks} , stemmer disse funnene relativt bra med antagelsen om at tid over 90% av VO_{2maks} , er meget sentralt for treningstilpasningene hos utholdenhetstrenerne personer (Thevenet et al. 2007). For øvrig ser det også ut som 90% av VO_{2maks} sikrer at alle fibertypene er aktivert og dermed oppnår treningsstimulus (Gollnick et al. 1974, Greig et al. 1985, Vøllestad et al. 1984).

Nylig sammenlignet vi tid over 90% av VO_{2maks} ved tre ulike intervallprotokoller under sykling på den teoretisk laveste watt som gir VO_{2maks} (~ snittwatt man klarer på 6-7 min all-out sykling). I de tre ulike protokollene var lengden på arbeidsperioden enten 30 sek, 3 min eller 5 min og pauselengden og intensiteten i denne var 50% av arbeidsperiodene. Det ble syklet til utmattelse i alle tre protokollene (Rønnestad & Hansen 2013). Total arbeidstid, samt tid over både 90% av VO_{2maks} og 90% av HF_{maks} var omtrent dobbelt så stor ved 30-15 protokollen som ved 3 og 5 min protokollene (Figur 4). Dette indikerer at det akutte stimuliet sannsynligvis er høyere ved 30-15 protokollen.



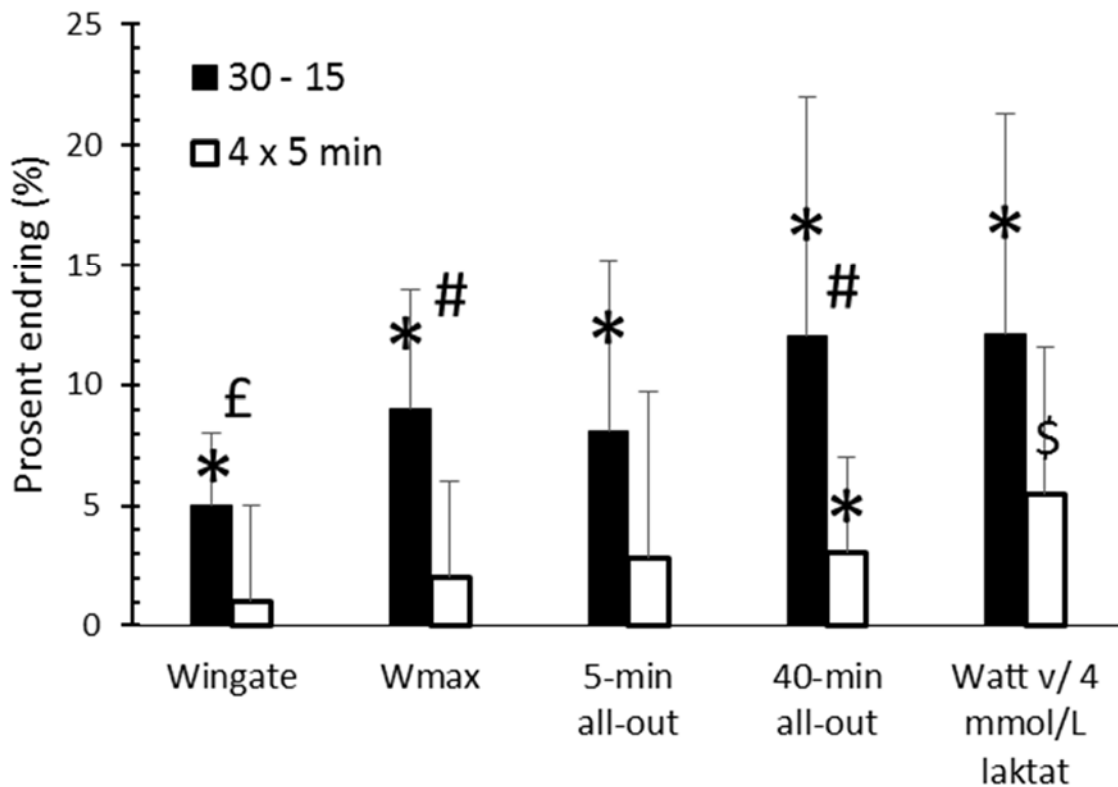
Figur 4 Tid på den teoretisk laveste watt som gir VO_{2maks} (øverst til venstre), tid over 90% av VO_{2maks} (øverst til høyre) og tid over 90% av maksimal hjertefrekvens (nederst til venstre) hos godt trente syklister. De syklet intervaller med 5 min, 3 min eller 30 sek arbeidsperioder med pauseperioder med varighet og intensitet tilsvarende 50% av arbeidsperiodene. De sorte firkantene er snittet for gruppa, mens de hvite sirklene representerer den høyeste og laveste responsen. #Større enn 5 og 3 min ($p < 0.05$). Modifisert etter Rønnestad & Hansen 2013.

Imidlertid gir bruk av samme arbeidsintensitet på de tre protokollene et noe skjevt bilde, samt at vi ikke kan si noe om langtidskonsekvensene av disse ulike måtene å organisere intervallene på. Derfor gjennomførte vi en 10 ukers treningsintervensjon på godt trente syklister som i gjennomsnitt hadde supplert LIT med 1 HIT økt i uken gjennom den siste måneden (desember) før oppstart. En gruppe supplerte LIT med 30-15 intervaller, mens den andre gruppen supplerte LIT med 4 x 5 min intervaller. Se faktaboks under for detaljer rundt metodikken. Selv om det var like mye HIT og LIT trening i begge gruppene var det en tydelig

30-15 vs. 4 x 5 min:

30-15 intervallene ble gjennomført som 3 serier à 13x30 sek arbeidsperioder. Mellom hver 30 sek arbeidsperiode var det 15 sek restitusjonsperiode der man syklet med en intensitet tilsvarende 50% av intensiteten på 30 sek dragene. I tillegg var det 3 min restitusjon mellom hver serie der man også syklet med en intensitet tilsvarende 50% av intensiteten på 30 sek dragene. 4 x 5 min intervallene hadde en restitusjonsperiode på 2,5 min sykling med en arbeidsintensitet på 50% av intensiteten på 5 min dragene. Den totale tida med intervaller ble da 19,5 og 20 min. Intervallene ble gjennomført to ganger i uken og syklistene skulle prøve å gjennomføre alla intervalløktene med høyest mulig snittwatt. En pekepinn for startwatt for 30-15 intervaller kan være snittwatten du har når du sykler alt du har i 5 min.

bedre fremgang på wattprofilen (fra 30 sek til 40 min all-out sykling) i 30-15 gruppen (Rønnestad et al. 2014; Figur 5). Fordelene av å organisere HIT økta som 30-15 gruppa gjorde kontra 4x5 min gruppa, er at watten i arbeidsdragene er høyere og dermed blir den mekaniske belastningen større (som er et av de sentrale signalene for treningstilpasninger). Dette fører sannsynligvis også til økt aktivering av andre sentrale signal for tilpasninger til utholdenhetstrening som en økt [ADP], [AMP], [NO & ROS] og [Ca²⁺] samt økt aktiveringen av muskelfibertype 2 til tross for lik total dragtid mellom gruppene (~ 20 min). Det er imidlertid viktig å være klar over at forholdet mellom arbeids- og hviletid og arbeidsintensiteten i disse periodene, spesielt ved kortintervaller, er sentralt for det totale stimuliet man oppnår. Allerede i 1960 ble det publisert en banebrytende artikkel på dette. Det ble observert at hvis hviletiden ved kortintervaller er like lang eller lengre enn arbeidsperioden, oppnår man lavere O₂- opptak under selve økten sammenlignet med arbeidsperioder som overskrider hvileperiodene. Christensen og medarbeidere (1960) fant at et forhold mellom arbeids- og hvileperioder på 15:10 sek gav høyere oksygenopptak under økten sammenlignet med et forhold på 15:15 sekund. I likhet med dette har det blitt observert at en ratio mellom arbeid:hvile på 1:1 gir lavere tid over 90% av VO_{2maks} enn 2:1 ratio (Rozenek et al., 2007).



Figur 5 Prosent endring i snittvatt under 30 sek all-out Wingate spurt (Wingate), snittvatt av de to siste minuttene av en VO_{2maks} trappetest (Wmaks), snittvatt under en 5 min all-out test, snittvatt under en 40 min all-out test og watt ved en blodlaktetkonsentrasjon på 4 mmol/L etter 10 uker der den høyintensive treningen ble gjennomført som enten 4 x 5 min all-out intervaller (4 x 5 min gruppen) eller 3 x 13 repeterte 30 s arbeidsintervaller med 15 s restitusjon innimellom (30-15 gruppen). Forsøkspersonene var godt trente syklister, begge gruppene hadde like mye treningstid med lav-, moderat-, og høy intensitet. Det var ingen forskjell mellom gruppene i prestasjon på noen av testene før studien startet. *Endring innad i gruppen i treningsperioden ($p < 0,05$), [§]Tendens til endring innad i gruppen i treningsperioden ($p < 0,09$), [#]Forskjell mellom gruppene i endring gjennom treningsperioden ($p < 0,05$), [£]Tendens til forskjell mellom gruppene i endring gjennom treningsperioden ($p < 0,09$). Figuren er modifisert etter Rønnestad et al. 2014.

Vi har nå presentert effekten av noen ytterpunkt av HIT intervaller og sett at over en 10 ukers periode kan repeterte kortintervaller gi en bedre treningstilpassning enn mer tradisjonelle 5-minutters intervaller. Vi ser at det er kombinasjonen av varighet, intensitet og lengden på restitusjonsperioden som til sammen utgjør de mest sentrale faktorene for det akutte treningsstimuliet. Et sentralt prinsipp innenfor treningslæren er prinsippet om variasjon. Dette gjelder også for hvordan en intervalløkt bør organiseres. Det er med andre ord ikke slik at en eneste HIT protokoll er den beste gjennom et helt år. Individuelle- og periodiske fokusområder bør påvirke hvordan HIT intervallene organiseres, men det er alltid et poeng å være bevisst hva man vil oppnå med økta og hvilke signaler for treningstilpassninger man ønsker å stimulere med intervalløkten.

Kommentarer fra trenerne til noen av våre beste syklist:

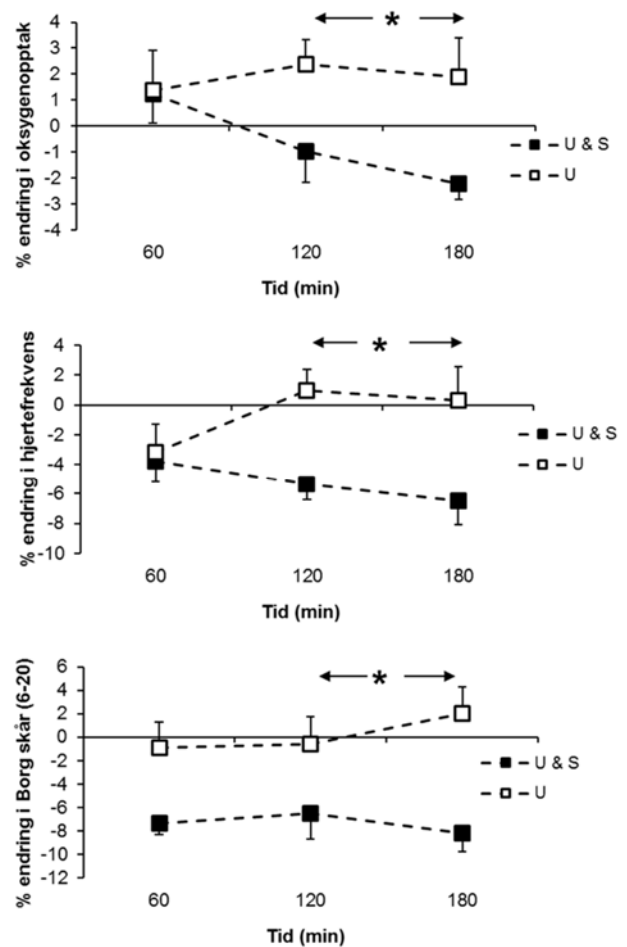
Trenerne nevner at trening i denne intensitetssonen ikke bare må gjennomføres på sykkelen, men kan også gjøre via motbakkeløping for å få maksimal sirkulatorisk og ventilatorisk belastning. Anbefalte draglengde varierer mellom 4 og 6 minutter og det nevnes at total arbeidstid bør overstige 30 minutter. Når det nærmer seg konkurransesesong trekkes det også frem viktigheten av å være bevist terrenget der intervallene gjennomføres. Med det menes at det nyanseforskjeller i muskelaktivering og arbeidsforhold for musklene om intervallene gjennomføres flatt, oppoverbakke og/eller i teknisk terreng for en terrengsyklist.

3.4 Styrketrening

Med styrketrening mener vi i denne sammenheng trening som er ment å øke vår evne til maksimal kraftutvikling ved relativt langsomme bevegelser. Vanligvis tenker vi da på styrketrening med en motstand som er så stor at vi klarer mellom 3 og 12 repetisjoner før utmattelse; 3-12 RM. Mange utholdenhetsutøvere har tidligere nølt med å benytte styrketrening fordi de har vært redde for å få for store muskler, redusert kapillærtetthet og dermed få tilsvarende stor økning i kroppsvekt, noe som kan tenkes å redusere utholdenhetsprestasjonen. Det ser imidlertid ut som den relativt store mengden med utholdenhets trening (≥ 4 utholdenhetsøkter per uke) reduserer muskelveksten (Jones et al. 2013, Kraemer et al. 1995, Rønnestad et al. 2012b). Derfor finner vi at muskelveksten oftest er under halvparten i forhold til hva man forventer hos personer som bare gjennomfører styrketrening uten samtidig utholdenhets trening (Rønnestad et al., 2010a, 2014, Taipale et al., 2010; Losnegard et al., 2011; Aagaard et al., 2011). Det betyr at etter en 12 ukers periode med to styrkeøkter i uken i tillegg til relativt stor mengde utholdenhets treningen, ser vi typisk 3-4 % økning i muskeltverrsnitt på den styrketrente muskulaturen og faktisk ingen endring i total kroppsvekt hos utøverne. Nå skal vi se hvordan tung styrketrening påvirker sentrale faktorer for sykkelprestasjon som VO_{2maks} , arbeidsøkonomi og terskelwatt.

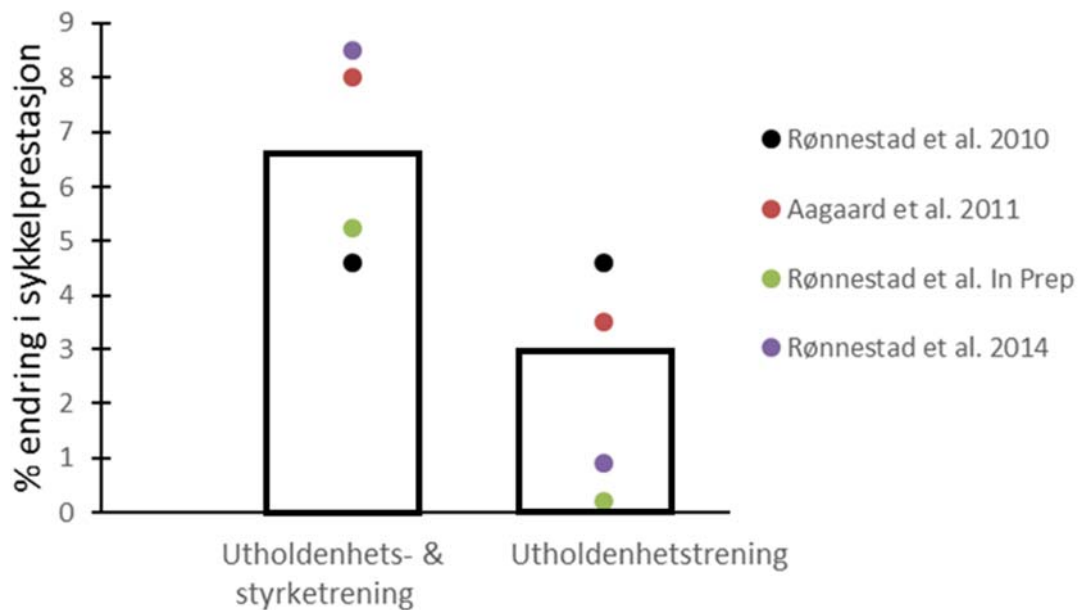
Tidligere var man redd for at styrketrening skulle redusere det maksimale oksygenopptaket. Det er nå klart at styrketrening ikke har noen negativ effekt på VO_{2maks} (Hickson et al. 1988, Bishop et al. 1999, Bastiaans et al. 2001, Levin et al. 2009, Rønnestad et al. 2010a; 2010b; 2014, Sunde et al. 2010, Aagaard et al. 2011, Barrett-O'Keefe et al. 2012, Louis et al. 2012). Når det gjelder arbeidsøkonomi er det noe sprikende funn. Oftest måles arbeidsøkonomi som

oksygenopptak under kortere (5 min) submaksimale arbeidsperioder, som for eksempel under de første belastningene av en laktatprofiltest. Ved å bruke denne tilnærmingen er det funnet både bedret arbeidsøkonomi (Barrett-O'Keefe et al. 2012, Louis et al. 2012, Sunde et al. 2010) og ingen endring i arbeidsøkonomi (Rønnestad et al. 2010a; 2010b; 2014, Aagaard et al. 2011) hos syklister som har kombinert styrke- og utholdenhetstrening. Imidlertid, er det ingen som har rapportert en negativ effekt av styrketrening på arbeidsøkonomi. Arbeidsøkonomi er viktig under langvarige sykkelritt, derfor har vi gjennomført to studier der vi har studert hvordan tung styrketrening påvirker arbeidsøkonomien under 3 timers sykling på moderat intensitet hos godt trente syklister. I løpet av de to første timene det ingen forskjell i arbeidsøkonomi mellom syklister som hadde gjennomført styrketrening og kontrollgruppen. Imidlertid, så fikk styrkegruppen bedret arbeidsøkonomi under den tredje timen, mens kontrollgruppen var uforandret (Rønnestad et al. 2011, Vikmoen et al. 2014). Styrkegruppen reduserte også hjertefrekvensen og den subjektive følelsen av tretthet redusert under hele sykkeltesten etter styrketreningsperioden, mens det var ingen endring hos syklister i kontrollgruppen (se figur 6). Derfor kan det se ut som de positive effektene av tung styrketrening blir enda tydeligere når muskulaturen begynner å utvikle tretthet. Terskelwatt blir blant annet påvirket av arbeidsøkonomien og siden den måles på en høyere arbeidsbelastning enn arbeidsøkonomi er det som forventet at tung styrketrening ser ut til å gi en mer entydig positiv effekt på terskelwatt (Koninckx et al. 2010; Rønnestad et al. 2010a; 2010b; 2014). Videre ser vi at de fleste studier som studerer effekten av tung styrketrening finner en forbedret sykkelprestasjon (oftest målt som snittwatt over 20-40 min),



Figur 6 Prosent endring i oksygenopptak (lavere oksygenopptak betyr bedre arbeidsøkonomi; øverst), hjertefrekvens (midterst) og subjektiv følelse av anstrengelse (nederst) under 3 timer sykling før og etter en 12 ukers treningsperiode. Forsøkspersonene var godt trente syklister der ene gruppen kombinerte utholdenhetstreningen med tung styrketrening (U & S) og den andre gruppen gjennomførte bare utholdenhetstrening (U). *Forskjell mellom gruppene i endring gjennom treningsperioden (p<0.05). Figuren er modifisert etter Rønnestad et al. 2011.

selv uten en registret forbedring i arbeidsøkonomi under laktatprofiltesten (Hickson et al. 1988, Koninckx et al. 2010, Rønnestad et al. 2010b; 2014, Aagaard et al. 2011, Sunde et al. 2010). Figur 7 oppsummerer de ulike studiene som har sett på effekten av samtidig styrke- og utholdenhetstrening over en periode på minimum 10 uker på prestasjonen til godt trente- og elitesyklister. Figuren viser at styrketreningsgruppene i snitt oppnår omtrent dobbelt så store fremgang som gruppene som bare trente utholdenhet.



Figur 7 Prosent endring i sykkelprestasjon (målt som snittwatt ved 40-45 min maksimalt arbeid) etter 10-25 uker med kombinert utholdenhets- og styrketrening eller bare utholdenhetstrening. Dataene er hentet fra de studiene som har studert dette hos syklister med en treningsstatus som varierer fra godt trent til elite syklist. Det betyr at snittet for VO_{2maks} i de ulike studiene varierte fra $65 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ til $80 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Søylene illustrere snittendringene for alle studiene, mens sirklene indikerer endringene i de enkelte studiene.

I mange sykkelritt sykler man med moderat intensitet i flere timer før rittet avgjøres med en avsluttende spurt. Denne situasjonen er vanskelig å etterligne i ett testlaboratorium. I den tidligere beskrevne studien, der syklister syklet på moderat arbeidsintensitet i tre timer, ble det rett i etterkant gjennomført en avsluttende 5-minutters test. I denne 5 minutters testen var det om å gjøre å ha så høy gjennomsnittswatt som mulig. Syklister som hadde gjennomført styrketrening og som bedret arbeidsøkonomien under den siste av de tre timene med submaksimal sykling, bedret også snittwatten i 5-minutters testen med $\sim 7\%$ (fra $\sim 370 \text{ W}$ til $\sim 400 \text{ W}$), mens ingen endring skjedde hos syklister i kontrollgruppen (Rønnestad et al. 2011). Også kortere spurter, med varighet på noen få sekunder, ser ut til å bedres gjennom styrketrening (Rønnestad et al. 2010b; 2010; 2014). Dette er en egenskap som er hovedsakelig avhengig av størrelsen på muskelmassen og muskelstyrken (Izquierdo et al. 2004) og som er

viktig hvis man for eksempel vil prøve å stikke i brudd fra hovedfeltet, tette små luker eller ved den avsluttende spurten om å komme først i mål.

Det er flere potensielle mekanismer som kan forklare den gunstige effekten av styrketrening på sykkelprestasjon. Blant de mest benyttede forklaringene er et større bidrag fra de arbeidsøkonomiske type I muskelfiberne (Rønnestad & Mujika 2013). Vi vet at muskelfibertype I blir sterkere etter en styrketreningsperiode, og en konsekvens av dette kan være at de gjør et større arbeid og vi kan dermed arbeide med en høyere effekt (W) før type II muskelfibrene med dårligere arbeidsøkonomi rekrutteres slik at vi får en bedre arbeidsøkonomi og høyere terskelwatt. Videre ser vi at når en syklists maksimale styrke øker, vil kraften som utvikles i hver pedalomdreining ved en gitt arbeidsbelastning bli lavere i prosent av den maksimale kraftutviklingen. Basert på rekrutteringshierarkiet av muskelfibrene er det også sannsynlig at bidraget fra muskelfibertype II reduseres, arbeidsøkonomien bedres, tømningen av glykogenlagrene reduseres og potensielt forbedret prestasjon i en avsluttende spurt etter et langvarig ritt eller alternativt lengre tid før utmattelse inntreffer. En annen årsaksforklaring er at økning av muskelmasse som bidrar til å skape effekt (W) medfører at bidraget fra hver enkelt muskel fiber blir mindre og således bedrer terskelwatten og sykkelprestasjonen (Coyle et al. 1991). Økt muskelmasse er også den mest sentrale faktoren for å øke anaerob kapasitet og spurtegenskapene.

3.4.1 Praktiske anbefalinger for styrketrening

Vi anbefaler systematisk basistrening med fokus på mage og ryggmuskulatur fra 10-årsalderen. Dette er først og fremst i skadeforebyggende øyemed. På generelt grunnlag anbefaler vi å vente med fokus på tung styrketrening til 18-årsalderen. Dette er ikke fordi det er farlig å gjennomføre tung styrketrening tidligere, men fordi vi mener fokuset først og fremst bør være på å utvikle aerobe egenskaper.

For å øke sannsynligheten for prestasjonsforbedring av den gjennomførte styrketreningen bør du fokusere på treningsprinsippet om spesifisitet. Det betyr blant annet å velge styrkeøvelser som er spesifikke i forhold til de viktigste muskelgruppene i sykkeltråkket og hvordan de jobber i tråkket. Dette forklares delvis av tilpasninger i nervesystemet (som optimal aktivering

av de involverte musklene) og delvis av strukturelle tilpasninger (som optimalisering av aktiverte tverrbroer i den aktuelle bevegelsesbanen). På generelt grunnlag ser vi også at kraften vi klarer å utvikle ved en maksimal muskelaksjon som involverer begge beina er mindre enn summen av kraften vi klarer å utvikle med hvert bein alene (Cresswell & Ovendal 2002, Schantz et al. 1989). Siden vi alternerer mellom hvilket bein som i størst grad bidrar til å skape fremdrift når vi sykler, bør vi inkludere ett-beins styrketreningsøvelser for syklist. Det viktigste bidraget til wattproduksjon gjennom sykkeltråkket kommer fra konsentrisk muskelaksjon under nedtråkket. Den høyeste kraftutviklingen viser seg å være når krankarmen har en vinkel på omtrent 90° , noe som tilsvarer omtrent en knevinkel på omtrent 100° . En generell regel kan derfor være at styrketreningsøvelsene bør ha et bevegelsesutslag for kneleddet mellom 90° og neste full ekstensjon med fokus på konsentrisk muskelaksjon. Det sistnevnte betyr at vi bør prøve å gjøre den konsentriske fasen av muskelaksjonen så hurtig som mulig, mens den eksentriske fasen gjøres langsommere og mer kontrollert.

Styrkeøvelser som kan være gunstige for syklist er knebøy, ettbeins knebøy, ettbeins beinpress, ettbeins hoftefleksjon (imiterer opptrekket i sykkeltråkket) og tåhev. Husk å gjennomføre en generell oppvarming før du starter med styrketreningsøvelsene og utfør også noen repetisjoner med lettere motstand før du starter med den første tunge serien. Det anbefales å starte styrketreningsøkta med den øvelsen som involverer den største muskelmassen og som stiller de største koordinative utfordringene. Gjennomfør deretter 2-3 flere øvelser som fokuserer på muskelgrupper i beina som er viktige for pedaltråkket. For å redusere risikoen for å få problemer med ryggen kan det være lurt å avslutte styrkeøkta med noen øvelser for mage og rygg. En styrkeøkt for syklist behøver ikke å ta lang tid, det er fullt mulig å gjennomføre en økt på under én time. Det anbefales å fokusere på å øke styrken i forberedelsesfasen til en ny konkurransesesong for deretter å vedlikeholde den økte styrken gjennom konkurransesesongen. To styrkeøkter i uken er tilstrekkelig for å oppnå en god økning i styrke over en 10 ukers periode. For beinøvelser anbefales det å trene to til tre serier med en motstand som er så tung at du maksimalt klarer mellom 4 og 12 repetisjoner (4-12 RM) og 2-3 minutters pause mellom seriene. Husk at før du kan starte med slik tung styrketrening må du være sikker på at du har lært deg rett løfteteknikk. Det er lett å kontrollere effekten av treningsprogrammet hvis du trener etter RM-prinsippet. Etter hvert som du blir sterkere må du også legge på flere kilo for at du skal være utmattet på den siste repetisjonen. I tabell 2 ser du et eksempel på et styrketreningsprogram som økte den

maksimal styrken i beina med 20-30 % hos godt trente syklister. I dette eksempelet ser du at motstanden variere fra den første til den andre økta i uken og at det er en gradvis progresjon mot tyngre motstand utover i styrketreningsperioden. Vær klar over at det er helt normalt å ha tunge og støle bein de første 2-3 ukene ved oppstart av styrketrening.

Kommentarer fra trenerne til noen av våre beste syklister:

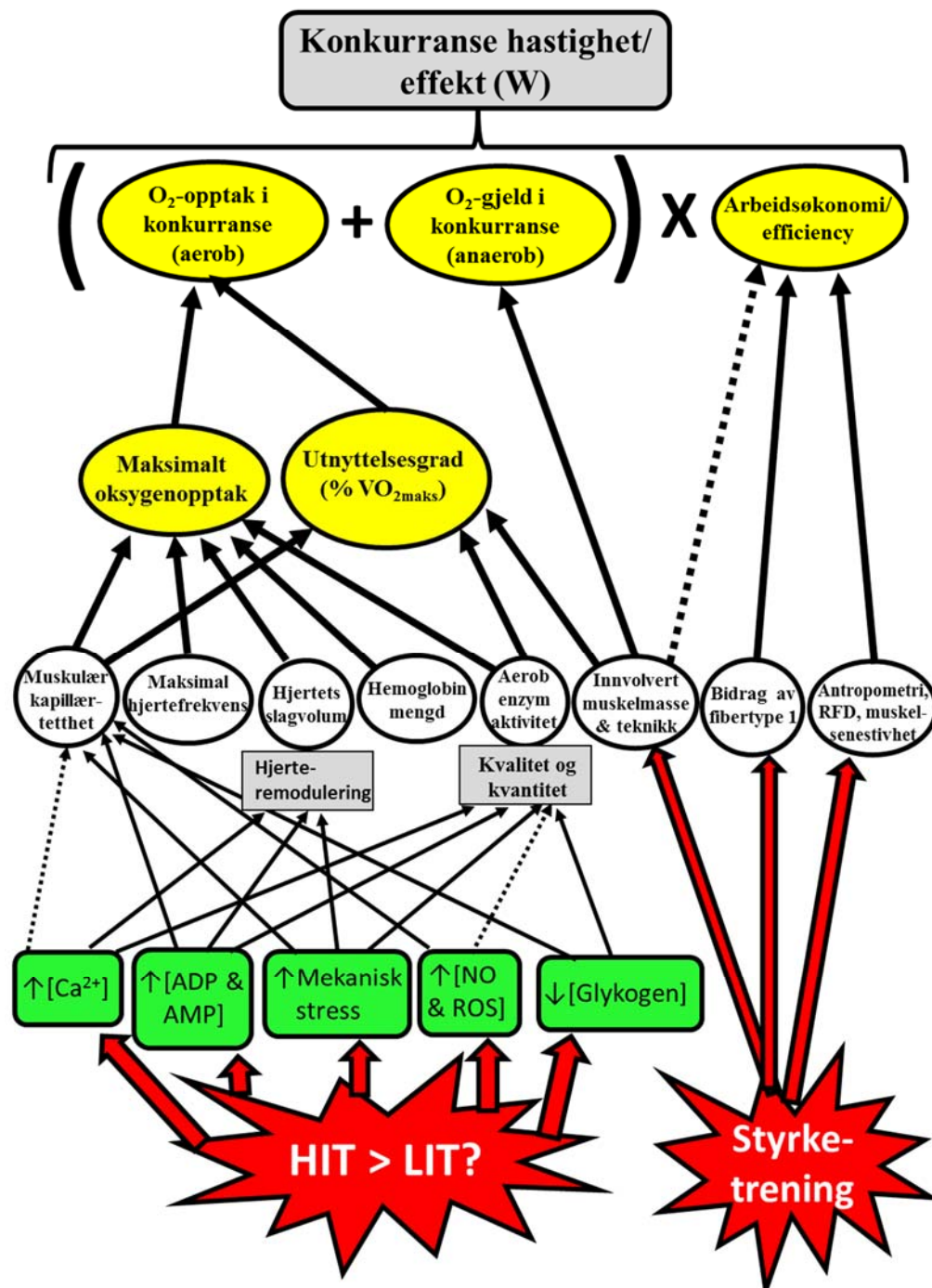
Trenerne anbefaler tung styrketrening (4-10 reps) i forberedelsesperioden frem mot ny sesong. Det også felles at de anbefaler å komme i gang med dette så tidlig som mulig etter avsluttet konkurransesesong og utvikle styrken frem til jul med to styrkeøkter i uken. Deretter nevner de fleste trenerne at den økte styrken bør vedlikeholdes med omtrent én økt i uken. Det er også felles at de anbefaler øvelser spesifikke for sykkelmuskulaturen i tillegg til generelle øvelser for å styrke mage- ryggregionen.

Tabell 2 Eksempel på et styrketreningsprogram som kan benyttes av syklister i forberedelsesperioden til konkurransesesongen samt forslag til en økt som kan benyttes i perioder der man bare ønsker å vedlikeholde styrken.

| | Forberedelsesperioden | | | | | | Vedlikeholdsøkt |
|-----------------------|-----------------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------------|
| | Treningsuke 1-3 | | Treningsuke 4-6 | | Treningsuke 7-12 | | |
| | 1. økt | 2. økt | 1. økt | 2. økt | 1. økt | 2. økt | |
| 90° knebøy | 3x10RM | 3x6RM | 3x8RM | 3x5RM | 3x6RM | 3x4RM | 2x5 reps@80-85% av 1RM |
| Ettbeins beinpress | 3x10RM | 3x6RM | 3x8RM | 3x5RM | 3x6RM | 3x4RM | 2x5 reps@80-85% av 1RM |
| Ettbeinshoftefleksjon | 3x10RM | 3x6RM | 3x8RM | 3x5RM | 3x6RM | 3x4RM | 2x5 reps@80-85% av 1RM |
| Tåhev | 3x10RM | 3x6RM | 3x8RM | 3x5RM | 3x6RM | 3x4RM | 2x5 reps@80-85% av 1RM |

3.5 Oppsummering

Figur 8 oppsummerer sammenhengen mellom sentrale stimuli for morfologiske tilpasninger til utholdenhetstrening og hvordan disse igjen påvirker viktige faktorer for hvor raskt du klarer å sykle. Forskningen indikerer at vi får størst akutt oppregulering av signaler som er sentrale for prestasjonsforbedringen gjennom HIT sammenlignet med LIT. Likevel må vi ikke glemme at relativt mye LIT også er nødvendig for en syklist. Vi ser også at tung styrketrening kan ha en gunstig påvirkning på sykkelprestasjonen og de teoretiske effektene av styrketrening er inkludert i figur 8.



Figuren er basert på bl.a. følgende studier: Akimoto et al. 2005, Gibala et al. 2009, Fujii et al. 2000, Wojtaszewski et al. 2000, Yu et al. 2001, Rose & Hargreaves 2003, Egan et al. 2010, Ferraro et al. 2014, Tadaishi et al. 2011, Irrcher et al. 2009, Kim et al. 2014, Zhang et al. 2014, Gibala et al. 2012, Ellison et al. 2012, Bernardo et al. 2010, Patten et al. 2012, McMullen et al. 2003, DeBosch et al. 2006,) Arany et al. 2008, Chinsomboon et al. 2009, Ellison et al. 2012, Tadaishi et al. 2011, Thom et al. 2014, Pajusola et al. 2005, Hoier & Hellstein 2014) Hellstein et al. 2008, Hellsten et al. 1998 Leick et al. 2009, Ouchi et al. 2005, Wahl et al. 2014, Wahl et al. 2011) Pate & Kriska 1984, di Prampero et al. 1986, Coyle 1995; 1999, Paavolainen et al. 1999, Joyner & Coyle 2008, Midgley et al. 2007, Tanaka & Seals 2008, Aagaard & Andersen 2010, Hickson et al. 1988, Koninckx et al. 2010, Rønnestad et al. 2010; 2010b; 2011, 2014, Aagaard et al. 2011, Sunde et al. 2010).

Figur 8 Skisse av sammenhengen mellom sentrale stimuli for morfologiske tilpasninger til utholdenhetstrening og hvordan disse igjen påvirker viktige faktorer for utholdenhetsprestasjon. Effekten av styrketrening på sentrale faktorer for utholdenhetsprestasjon er også skissert.

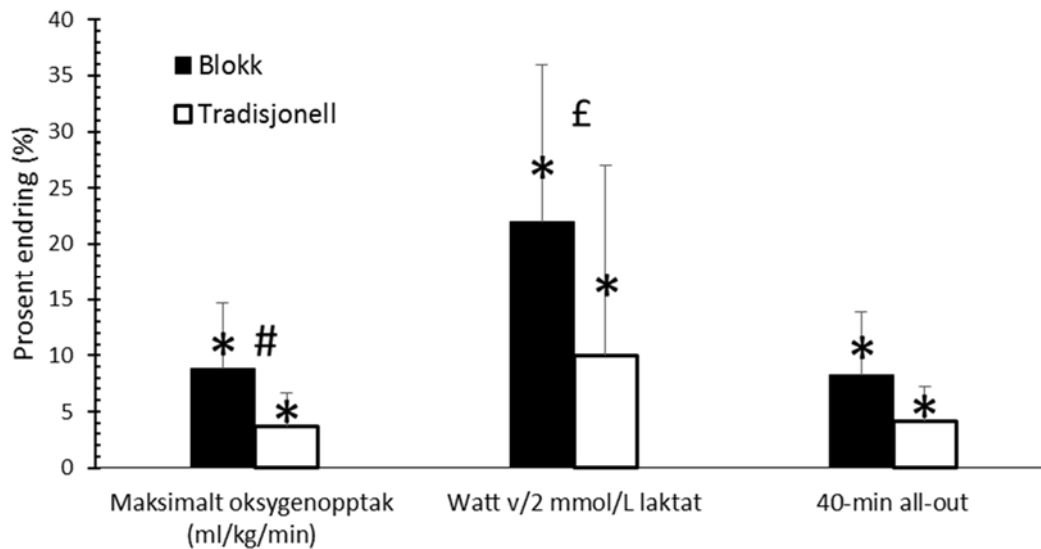
4.0 Organisering av treningen

Som vi har indikert ovenfor har både LIT, MIT og HIT sine fordeler og alle disse ulike treningsintensitetene bør inngå i en treningsplan. Hvordan disse intensitetssonene skal

prioriteres og integreres bør individualiseres. Likevel ser det ut til å være en generell oppfatning av at LIT bør utgjøre hovedvolumet av treningen. Det har blitt foreslått at en polariseringstilnærming, der ~75% av det totale treningsvolumet gjennomføres som LIT, 5-10% som MIT og 15-20% gjennomføres som HIT, er en optimal fordeling av treningstiden (Seiler et al. 2010). Denne tilnærmingen ser ut til å være relativt vanlig innenfor flere ulike utholdenhetsidretter (Billat et al. 2001, Jones 2006 Seiler & Kjærland 2006, Seiler & Fiskerstrand 2004). Sannsynligvis er en god løsning på treningsåret å ha en variert tilnærming med en nøye gjennomtenkt og balansert blanding av arbeidsintensitetskontinuumet. Man må da hensyn til hvilke egenskaper man ønsker å utvikle og egenskaper man `bare` vil vedlikeholde, samt gjennom hvilke mekanismer man ønsker å oppnå dette. Den tradisjonelle tilnærming til treningsplanlegging er å ukentlig gjennomføre 1-2 HIT økter, 0-1 MIT økt og supplere med LIT økter. En alternativ tilnæringsmåte er å ha definerte perioder der man fokuserer på en intensitetssone, mens man vedlikeholder egenskaper som er typiske for de andre intensitetssonene. Et eksempel på dette kan være at man har en to ukers periode med fokus på LIT (~ 25-35 timer per uke) med 1-2 HIT økter i løpet av denne perioden. Det er vist at mindre bolker på 1-2 uker med fokus på HIT økter kan ha en gunstig påvirkning på utholdenhetsprestasjon (Breil et al. 2010, Christensen et al. 2011, García-Pallarés et al. 2010, Støren et al. 2012, Wahl et al. 2013, Wahl et al. 2014b).

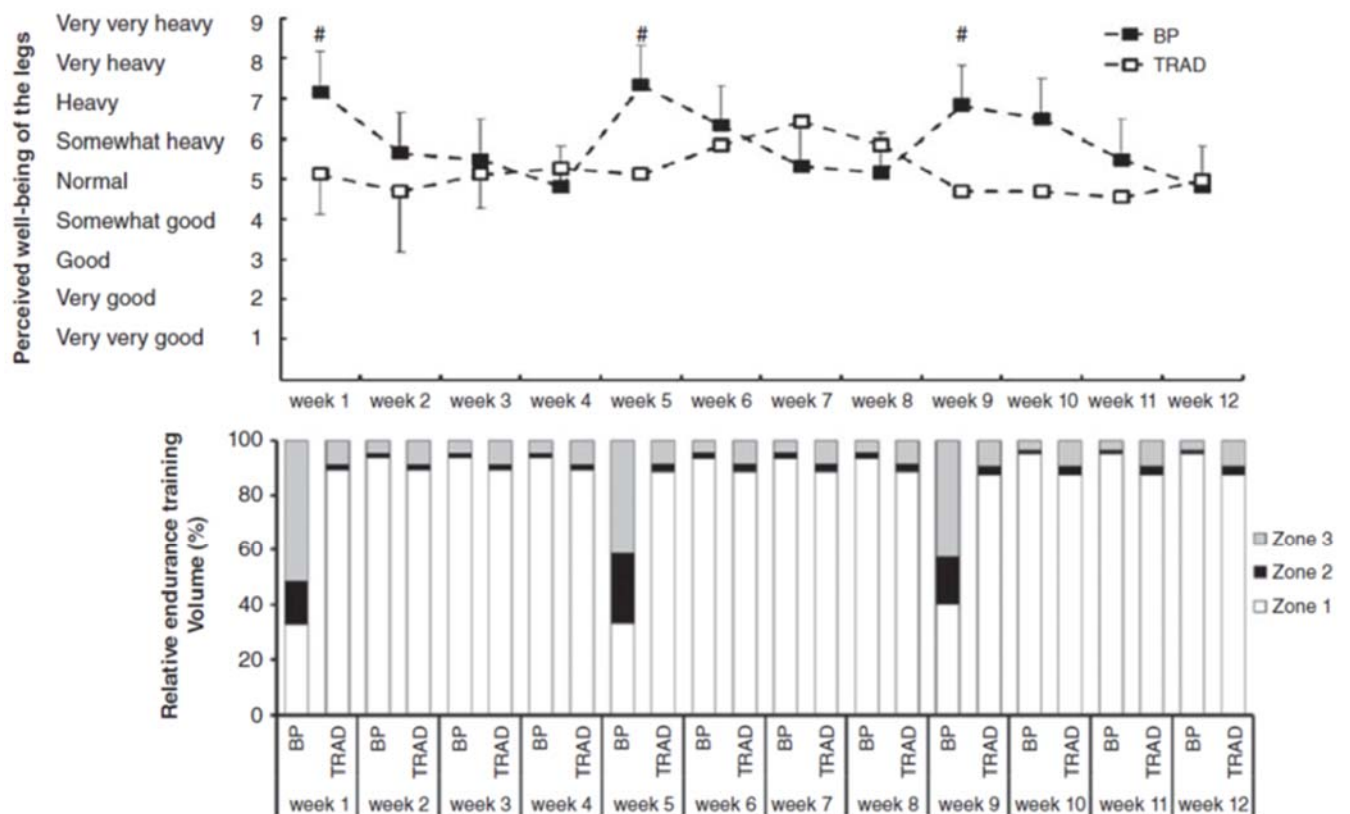
Vi har nylig studert to grupper av godt trente syklister som gjennomførte samme mengde LIT, MIT og HIT over 12 ukers periode. Eneste forskjellen mellom gruppene var den ukentlige organiseringen av treningen. Den ene gruppen hadde først én uke med 5 HIT økter etterfulgt av én HIT økt/uke de neste tre ukene og et høyere volum av LIT. Denne 4 ukers syklusen ble totalt repetert 3 ganger. Kontrollgruppen gjennomførte de samme HIT øktene (5 x 6 min og 6 x 5 min all-out) to ganger/uke og supplerte med LIT gjennom hele 12 ukers perioden. Selv om den totale treningsmengden og intensitetsdistribusjonen ble lik, fikk blokkgruppen bedre fysiologiske og prestasjonsmessige fremganger (figur 9; Rønnestad et al. 2014b). En viktig del av forklaringen på dette skyldes sannsynligvis det relativt store stimuliet som syklistene fikk i de ukene de gjennomførte 5 HIT økter. Dette gjenspeiles med at syklistene følte de hadde veldig tunge bein i disse intensive treningsukene (figur 10). Vi så imidlertid at beina følte normale i løpet av den 2. uke med fokus på LIT. Denne studien indikerer at det i enkelte perioder av treningsåret kan være smart å fokusere på spesielle treningssoner. Husk at det er

viktig å tenke på å vedlikeholde de viktige egenskapene som ikke er utviklingsområde i den aktuelle perioden.



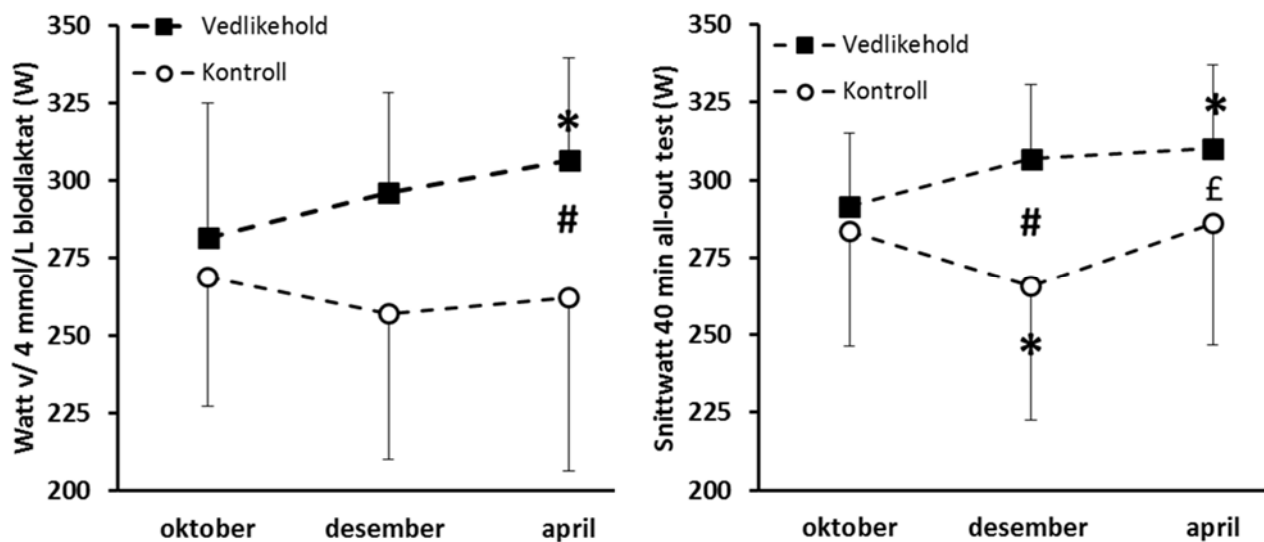
Figur 9 Prosent endring i maksimalt oksygenopptak, watt ved en blodlaktatkonsentrasjon på 2 mmol/L og snittwatt under 40 min all-out test etter 12 uker med blokkperiodisering (Blokk) eller en mer tradisjonell organisering av treningen (Tradisjonell). Det var ingen forskjell mellom gruppene i prestasjon på noen av testene før studien startet. *Endring innad i gruppen i treningsperioden ($p < 0,05$), #Forskjell mellom gruppene i endring gjennom treningsperioden ($p < 0,05$), £Tendens til forskjell mellom gruppene i endring gjennom treningsperioden ($p = 0,054$). Figuren er modifisert etter Rønnestad et al. 2014b.

Et eksempel på dette kan være hva vi gjør i den aktive avkoplingsperioden rett etter sesongslutt. Erfaringsmessig er det flere syklister som nesten ikke gjennomfører HIT i perioden oktober-november. Vi har gjennomført en studie der halvparten av syklisten gjennomføre en HIT økt/uke i løpet av 8 første ukene etter sesongslutt, mens den halvparten bare gjennomførte LIT trening (Rønnestad et al. 2014c). I desember hadde gruppen som gjennomførte 1 HIT/uke (6x5 min all-out) vedlikeholdt sin terskelwatt og snittwatt på 40-min all-out prestasjonstest, mens den andre gruppen hadde fått en reduksjon i begge testene (figur 11). Fra denne testen og gjennom de 16 neste ukene til sesongstart var de to gruppene fri til å trene det de følte var best for å sikre høyest mulig prestasjonsnivå ved sesongstart. Begge gruppene hadde i denne perioden samme treningsvolum og intensitetsfordeling (2 HIT økter, 1 MIT økt og ~ 9 timer LIT per uke). Ved sesongstart hadde gruppen som vedlikeholdt nivået



Figur 10 Ukentlig distribuering av trening i de ulike intensitetssonene (nederst) samt hvordan dette påvirket syklistenes bein (øverst). BP= blokk periodisering, TRAD = mer tradisjonell organisering av treningen.
#Forskjell mellom gruppene ($p < 0.05$)

sitt frem til desember økt på terskelwatt og snittwatt på 40-min all-out testen og presterte således bedre enn i oktober, mens den andre gruppen ikke hadde klart å forbedre prestasjonen sin fra oktober testen. Dette viser viktigheten av å vedlikeholde sentrale egenskaper for å sikre en gunstig utvikling over tid. I perioder med lite trening ser det ut som innslag av HIT er essensielt for å vedlikeholde prestasjonsnivået (Hickson & Rosenkoetter 1981; Houmard et al. 1990; McConell et al. 1993; Neuffer et al. 1989). Det er likevel ikke slik at man må gjennomføre minimum en HIT per uke gjennom hele året. Innimellom må man roe helt ned og restituere både fysisk og mentalt.



Figur 11 Watt ved en blodlaktatkonsentrasjon på 4 mmol/L (venstre panel) og snittwatt under 40 min all-out test (høyre panel) hos syklister som gjennomførte en HIT økt per uke fra oktober til desember (Vedlikehold) og gruppen som ikke gjennomførte HIT i samme periode (Kontroll). I perioden desember – april gjennomførte begge gruppene den treningen de mente var optimal for seg selv og det var ingen forskjell i mengde LIT, MIT eller HIT mellom gruppene i denne perioden. *Endring fra oktober ($p < 0,05$), #Forskjell mellom gruppene i endring fra oktober ($p < 0,05$), ‡Tendens til forskjell mellom gruppene i endring fra oktober ($p = 0,10$). Figuren er modifisert etter Rønnestad et al. 2014c.

Det er ikke bare de aerobe egenskapene som er viktige å vedlikeholde. Dette gjelder også tilpasningene til styrketrening. Nylig observerte vi at godt trente syklister økte sin styrke gjennom 2 styrkeøkter per uke fra oktober til desember. Denne styrkeøkningen ble vedlikeholdt med 1 styrkeøkt hver 7.-10. dag frem til april. Fra april til juni ble det ikke gjennomført styrketrening. I juni var bl.a. styrken og sprintprestasjonen redusert til nesten akkurat samme nivå som i oktober (Rønnestad et al. 2014e). Dette understreker også viktigheten av å organisere treningsåret på en måte som muliggjør vedlikeholde styrken også i konkurransesesongen.

Kommentarer fra trenerne til noen av våre beste syklister:

Trenerne presiserer at det er viktig å komme tidlig i gang med treningen etter avsluttet konkurransesesong med innslag av HIT økter. Samtidig sies det også at man må ha noe mental avkopling og at man i denne perioden også kan bruke alternative bevegelsesformer som for eksempel løping, fjellturer, langrenn.

6.0 Avslutning

For å forstå og forklare hva som ligger bak en sykkelprestasjon er det mange aspekter som må belyses. I denne artikkelen har vi tatt for oss de mest sentrale faktorene som bestemmer det fysiske aspektet knyttet til prestasjonen, samt viktige stimuli for bedring av disse faktorene. Det er imidlertid klart at det er en lang rekke andre forhold som ligger til grunn for en ypperlig prestasjon. Eksempler på dette er genetiske forutsetninger, mental styrke, motivasjon, holdninger, helse, taktiske evner, ernæring, treningsmengde i ung alder.

I idretten dreier forklaringene på årsaken til en stor prestasjon eller en enestående utøvers resultater ofte om semantikk¹⁶. Det vil si at den som forklarer treningsregimet som ligger bak de gode prestasjonene, ofte ser ut til å fronte det som vedkommende mener er hovedårsaken, eller som vedkommende ønsker å fronte som noe spesielt. Det kan til dels være vrient å forklare hvorfor en utøver har blitt så god med få ord. Prestasjon er sammensatt og de som skal forklare prestasjonen har ofte en tendens til å forklare årsakene til det som er gjort nær i tid. Grunnlaget blir ofte ikke omtalt i særlig grad. Faren med å lytte til og tolke det som blir hevdet, er at vi ender opp i mye forvirring og misforståelser knyttet til det med treningsfilosofi. Et eksempel vi ønsker å trekke fram her er forklaringen/forståelsen et særforbund i Norge ga oss knyttet til deres utøvers fysiske kapasitet. Forbundet er relevant for sykkel da deres utøvere har den høyeste VO₂maks i Norge, kanskje også i verden. De forklarte årsaken til de gode prestasjonene og den fysiske kapasitetene med at de gjennomførte veldig mye mengde. Vår umiddelbare tanke var da at de i stor grad gjennomførte mye trening med lang varighet og rolig intensitet. Når vi deretter fikk gått igjennom treningsdata for gruppen, viser det seg at de på årsbasis trener i snitt tre hardøkter per uke, fordelt på Olympiatoppens sone 3, 4 og 5. For vår tolkning vart det da noe misvisende å karakterisere treningsregimet gjennom begrepet *mye mengde*. Dog lå utøverne på omkring 900 timer per år og omkring 80% av treningen lå i Olympiatoppens sone 1 og 2 som jo må anses å være store mengder. Slik kunne vi fortsatt å gitt eksempler på hva ordene som blir brukt til å beskrive innholdet i et treningsregime kan villedde og skape usikkerhet om hva som faktisk er innholdet i treningen. Dette ønsker vi å bøte på i denne artikkelen gjennom være tydelige på hva forskningen sier og gi konkrete eksempler på våre anbefalinger.

¹⁶ Læren om betydninger, deres natur og funksjon; teorien om forholdet mellom språklige tegn og det tegnene står for, refererer til, eller betyr.

Det er også viktig å understreke at gjennom å se på hva de beste i verden gjør i dag, er det viktig å være bevisst på hva det sier oss. Det sier noe om hva som kreves på det høyeste nivå, som jo er nyttig informasjon, men man må være varsom med å kopiere inn dette på yngre utøvere. En stor forskjell fra yngre utøvere, er at de etablerte utøvere i verdenstoppen har en langt større konkurransehyppighet. En proffsyklist på landevei kjører årlig omkring 80-90 ritt. Våre beste U23 ryttere kjører omkring halvparten. I terreng er det gjerne motsatt, noe som i seg selv er interessant og kan diskuteres. Det medfører at belastningen utøverne blir utsatt for i konkurranser er svært forskjellig og det gir grunnlag for å hevde at dette bør få konsekvenser på hvordan det trenes og det bør med stor sannsynlighet ikke kopieres.

For utøvere i utviklingsalder er det grunnlag for å hevde at den viktigste jobben er å utvikle de fysiske, mentale, taktiske og sosiale egenskapene i større grad enn det er for utøvere som allerede er på toppen. Det er også viktig å poengtere at treningen må differensieres på bakgrunn av utøvernes styrker og svakheter. I denne artikkelen har målet vært å saumfarelitteraturen for å klargjøre hva som må trigges for å stimulere til utvikling av sentrale fysiske kapasiteter. For komponeringen av trening gjennom et år har vi laget en modell for som kan være til praktisk hjelp. Det mest sentrale er å trene på de riktige egenskapene som kreves over tid og med kvalitet.

Referanser

Åagaard P, Andersen JL, Bennekou M, Larsson B, Olesen JL, Crameri R, Magnusson SP, Kjaer M. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21: e298-e307

Acevedo EO, Goldfarb AH: Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21: 563–568

Altenburg TM, Degens H, van Mechelen W, Sargeant AJ, de Haan A. Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2007 Nov;103(5):1752-6. Epub 2007 Sep 6.

Arany Z, Foo SY, Ma Y, Ruas JL, Bommi-Reddy A, Girmun G, Cooper M, Laznik D, Chinsomboon J, Rangwala SM, Baek KH, Rosenzweig A, Spiegelman BM. HIF-independent regulation of VEGF and angiogenesis by the transcriptional coactivator PGC-1 α . *Nature*. 2008 Feb 21;451(7181):1008-12. doi: 10.1038/nature06613.

Bangsbo J, Gunnarsson TP, Wendell J, Nybo L, Thomassen M. Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na⁺-K⁺ pump α 2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *J Appl Physiol* 2009; 107: 1771–1780.

Barrett-O'Keefe Z, Helgerud J, Wagner PD, Richardson RS. Maximal strength training and increased work efficiency: contribution from the trained muscle bed. *J Appl Physiol*. 2012; 113: 1846-1851.

Bassett, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance *Med. Sci. Sports Exerc.*32, 70-84.

Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2001; 86: 79-84.

Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztein JP. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Dec;33(12):2089-97.

Billat V, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Salim D, Koralsztein JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2003 Feb;35(2):297-304; discussion 305-6.

Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 886-891.

Breil FA, Weber SN, Koller S, Hoppeler H, Vogt M. Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *Eur J Appl Physiol* 2010; 109: 1077–1086.

Brodal P, Ingjer F, Hermansen L. Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *Am J Physiol.* 1977 Jun;232(6):H705-12.

Chinsomboon J, Ruas J, Gupta RK, Thom R, Shoag J, Rowe GC, Sawada N, Raghuram S, Arany Z. The transcriptional coactivator PGC-1 α mediates exercise-induced angiogenesis in skeletal muscle. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2009 Dec 15;106(50):21401-6. doi: 10.1073/pnas.0909131106. Epub 2009 Dec 4.

Christensen, E. H., Hedman, R. & Saltin, B. 1960. Intermittent and continuous running. *Acta Physiol. Scand.* 50, 269-86.

Christensen PM, Krstrup P, Gunnarsson TP, Kiilerich K, Nybo L, Bangsbo J. VO₂ kinetics and performance in soccer players after intense training and inactivity. *Med Sci Sports Exerc.* 2011 Sep;43(9):1716-24. doi: 10.1249/MSS.0b013e318211c01a.

Cochran AJ, Percival ME, Tricarico S, Little JP, Cermak N, Gillen JB, Tarnopolsky MA, Gibala MJ. Intermittent and continuous high-intensity exercise training induce similar acute but different chronic muscle adaptations. *Exp Physiol.* 2014 May 1;99(5):782-91. doi: 10.1113/expphysiol.2013.077453. Epub 2014 Feb 14.

Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, R. & Park, S. H. 1988. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20, 249-54.

Coyle EF, Coggan AR, Hopper MK, Walters TJ. Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* 1988; 64: 2622–2630.

Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, Abraham LD & Petrek GW. Physiological and Biomechanical Factors Associated with Elite Endurance Cycling Performance. *Med Sci Sport Exer* 1991; 23: 93-107.

Crenshaw AG, Fridén J, Thornell LE, Hargens AR. Extreme endurance training: evidence of capillary and mitochondria compartmentalization in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1991;63(3-4):173-8.

Cresswell AG, Ovendal AH. Muscle activation and torque development during maximal unilateral and bilateral isokinetic knee extensions. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002 Mar;42(1):19-25.

Daniels, J. & Scardina, N. 1984. Interval training and performance. *Sports Med.* 1, 327-34.

Edgett BA, Foster WS, Hankinson PB, Simpson CA, Little JP, Graham RB, Gurd BJ. Dissociation of increases in PGC-1 α and its regulators from exercise intensity and muscle activation following acute exercise. *PLoS One*. 2013 Aug 12;8(8):e71623. doi: 10.1371/journal.pone.0071623. eCollection 2013.

Egan B, Carson BP, Garcia-Roves PM, Chibalin AV, Sarsfield FM, Barron N, McCaffrey N, Moyna NM, Zierath JR, O'Gorman DJ. Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1 mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *J Physiol*. 2010 May 15;588(Pt 10):1779-90. doi: 10.1113/jphysiol.2010.188011. Epub 2010 Mar 22.

Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab*. 2013 Feb 5;17(2):162-84. doi: 10.1016/j.cmet.2012.12.012.

Enoksen E, Shalfawi SA, Tønnessen E. The effect of high- vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. *J Strength Cond Res*. 2011 Mar;25(3):812-8. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc2291.

Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S, Lucia A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res*. 2007 Aug;21(3):943-9.

Evertsen F, Medbø JI, Bonen A. Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross-country skiers. *Acta Physiol Scand*. 2001 Oct;173(2):195-205.

Evertsen F, Medbo JI, Jebens E, Gjøvaag TF. Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiol Scand*. 1999 Nov;167(3):247-57.

Fernández-García B, Pérez-Landaluce J, Rodríguez-Alonso M, Terrados N. Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 May;32(5):1002-6.

Fox EL, Bartels RL, Billings CE, Mathews DK, Bason R, Webb WM (1973) Intensity and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med Sci Sports* 5:18-22

Fukumura D, Xu L, Chen Y, Gohongi T, Seed B, Jain RK (2001) Hypoxia and acidosis independently up-regulate vascular endothelial growth factor transcription in brain tumors in vivo. *Cancer Res* 61: 6020–6024.

García-Pallarés J, García-Fernández M, Sánchez-Medina L, Izquierdo M. Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *Eur J Appl Physiol* 2010; 110: 99–107.

Gaskill SE, Serfass RC, Bacharach DW, Kelly JM. Responses to training in cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*. 1999 Aug;31(8):1211-7.

Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol*. 2012 Mar 1;590(Pt 5):1077-84. doi: 10.1113/jphysiol.2011.224725. Epub 2012 Jan 30. Review.

Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Physiol*. 1974 Aug;241(1):45-57.

Greig C, Sargeant AJ, Greig CA & Vollestad NK (1985). Muscle force and fibre recruitment during dynamic exercise in man. *J Physiol* 371, 176P.

Hardie DG. AMP-activated protein kinase: an energy sensor that regulates all aspects of cell function. *Genes Dev*. 2011 Sep 15;25(18):1895-908. doi: 10.1101/gad.17420111.

Hellsten Y, Maclean D, Rådegran G, Saltin B, Bangsbo J. Adenosine concentrations in the interstitium of resting and contracting human skeletal muscle. *Circulation*. 1998 Jul 7;98(1):6-8.

HENNEMAN E, SOMJEN G, CARPENTER DO. FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF CELL SIZE IN SPINAL MOTONEURONS. *J Neurophysiol*. 1965 May;28:560-80.

Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT, Foster C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* 1988; 65: 2285-2290.

Hickson, R. C., Hagberg, J. M., Ehsani, A. A. & Holloszy, J. O. 1981. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 13, 17-20.

Hickson RC, Rosenkoetter MA (1981) Reduced training frequencies and maintenance of increased aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 13:13-16

Hoier B, Hellsten Y. Exercise-induced capillary growth in human skeletal muscle and the dynamics of VEGF. *Microcirculation*. 2014 May;21(4):301-14. doi: 10.1111/micc.12117.

Houmard JA, Costill DL, Mitchell JB, Park SH, Hickner RC, Roemmich JN (1990) Reduced training maintains performance in distance runners. *Int J Sports Med* 11:46-52

Hudlická O, Brown MD, Silgram H. Inhibition of capillary growth in chronically stimulated rat muscles by N(G)-nitro-L-arginine, nitric oxide synthase inhibitor. *Microvasc Res*. 2000 Jan;59(1):45-51.

Hunt TK, Aslam RS, Beckert S, Wagner S, Ghani QP, et al. (2007) Aerobically derived lactate stimulates revascularization and tissue repair via redox mechanisms. *Antioxid Redox Signal* 9: 1115–1124.

Ingham SA, Carter H, Whyte GP, Doust JH (2008) Physiological and performance effects of low- versus mixed-intensity rowing training. *Med Sci Sports Exerc* 40:579-584

Izquierdo M, Ibanez J, Hakkinen K, Kraemer WJ, Ruesta M, Gorostiaga EM. Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *J Sports Sci.* 2004; 22: 465-478.

Jacobs RA, Lundby C Mitochondria express enhanced quality as well as quantity in association with aerobic fitness across recreationally active individuals up to elite athletes. *J Appl Physiol* (1985). 2013 Feb;114(3):344-50. doi: 10.1152/jappphysiol.01081.2012. Epub 2012 Dec 6.

Jensen L, Bangsbo J, Hellsten Y. Effect of high intensity training on capillarization and presence of angiogenic factors in human skeletal muscle. *J Physiol.* 2004 Jun 1;557(Pt 2):571-82. Epub 2004 Mar 12.

Jessen N, Sundelin EI, Møller AB. AMP kinase in exercise adaptation of skeletal muscle. *Drug Discov Today.* 2014 Jul;19(7):999-1002.

Jones AM: The physiology of the world record holder for the women's marathon. *Int J Sports Sci Coach* 2006; 1: 101–116.

Jones TW, Howatson G, Russell M, French DN. Performance and neuromuscular adaptations following differing ratios of concurrent strength and endurance training. *J Strength Cond Res.* 2013, 27: 3342-3351.

Joyner MJ1, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol.* 2008 Jan 1;586(1):35-44. Epub 2007 Sep 27.

Koninckx E, Van Leemputte M, Hespel P. Effect of isokinetic cycling versus weight training on maximal power output and endurance performance in cycling. *Eur J Appl Physiol* 2010; 109: 699-708.

Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 1801–1807.

Lehman JJ, et al. Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1 promotes cardiac mitochondrial biogenesis. *J Clin Invest.* 2000; 106:847–856.

Lehmann, M., Baumgartl, P., Wiesenack, C., Seidel, A., Baumann, H., Fischer, S., Spøri, U., Gendrisch, G., Kaminski, R. & Keul, J. 1992. Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle-and long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64, 169-177.

Levin GT, Mcguigan MR, Laursen PB. Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *J Strength Cond Res* 2009; 23: 2280-2286.

Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH, Schomer HH, Noakes TD, Dennis SC. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 1427–1434.

Londeree, B. R. 1997. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 837-43.

Losnegard T, Mikkelsen K, Rønnestad BR, Hallén J, Rud B, Raastad T. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21: 389-401.

Louis J, Hauswirth C, Easthope C, Brisswalter J. Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Feb;112(2):631-40.

Lu D, Zhang L, Wang H, Zhang Y, Liu J, Xu J, Liang Z, Deng W, Jiang Y, Wu Q, Li S, Ai Z, Zhong Y, Ying Y, Liu H, Gao F, Zhang Z, Chen B. Peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α (PGC-1 α) enhances engraftment and angiogenesis of mesenchymal stem cells in diabetic hindlimb ischemia. *Diabetes.* 2012 May;61(5):1153-9. doi: 10.2337/db11-1271. Epub 2012 Jan 20.

McConnell GK, Costill DL, Widrick JJ, Hickey MS, Tanaka H, Gastin PB (1993) Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med* 14:33-37

Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M (2006) Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med* 36:117-132

Mikesell, K. A. & Dudley, G. A. 1984. Influence of intense endurance training on aerobic power of competitive distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16, 371-5.

Mujika I, Chatard JC, Busso T, Geysant A, Barale F, Lacoste L. Effects of training on performance in competitive swimming. *Can J Appl Physiol* 1995; 20: 395–406.

Neufer PD (1989) The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Med* 8:302-320

Nordsborg NB, Lundby C, Leick L, Pilegaard H. Relative workload determines exercise-induced increases in PGC-1 α mRNA. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Aug;42(8):1477-84. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d2d21c.

Patten IS, Rana S, Shahul S, Rowe GC, Jang C, Liu L, Hacker MR, Rhee JS, Mitchell J, Mahmood F, Hess P, Farrell C, Koullis N, Khankin EV, Burke SD, Tudorache I, Bauersachs J, del Monte F, Hilfiker-Kleiner D, Karumanchi SA, Arany Z. Cardiac angiogenic imbalance leads to peripartum cardiomyopathy. *Nature*. 2012 May 9;485(7398):333-8. doi: 10.1038/nature11040.

Kraemer, W.J., J.F. Patton, S.E. Gordon, E.A. Harman, M.R. Deschenes, K. Reynolds, R.U. Newton, N.T. Triplett, and J.E. Dziados. Compatibility of High-Intensity Strength and Endurance Training on Hormonal and Skeletal-Muscle Adaptations. *J Appl Physiol* 1995; 78: 976-989.

Pogozelski AR, Geng T, Li P, Yin X, Lira VA, Zhang M, Chi JT, Yan Z. p38gamma mitogen-activated protein kinase is a key regulator in skeletal muscle metabolic adaptation in mice. *PLoS One*. 2009 Nov 20;4(11):e7934. doi: 10.1371/journal.pone.0007934.

Popov DI, Zinovkin R, Karger E, Tarasova O, Vinogradova O. Effects of continuous and intermittent aerobic exercise upon mRNA expression of metabolic genes in human skeletal muscle. *J Sports Med Phys Fitness*. 2014 Jun;54(3):362-9.

Rozenek R, Funato K, Kubo J, Hoshikawa M, Matsuo A. Physiological responses to interval training sessions at velocities associated with VO₂max. *J Strength Cond Res*. 2007 Feb;21(1):188-92.

Rønnestad BR, Askestad A, Hansen J. HIT maintains performance during the transition period and improves next season performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2014c Sep;114(9):1831-9. doi: 10.1007/s00421-014-2919-5. Epub 2014 May 31.

Rønnestad BR, Ellefsen S, Nygaard H, Zacharoff EE, Vikmoen O, Hansen J, Hallén J. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. 2014b Apr;24(2):327-35.

Rønnestad BR, Hansen J. Optimizing interval training at power output associated with peak oxygen uptake in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2013. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a73e8a.

Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 2010a; 108: 965-975.

Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112: 1457-1466.

Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance *Eur J Appl Physiol* 2010b; 110: 1269-1282.

Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21: 250-259.

Rønnestad BR, Hansen J, Hollan I, Ellefsen S. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports*. 2014d, May 27. doi: 10.1111/sms.12257. [Epub ahead of print]

Rønnestad BR, Hansen J, Spencer, M, Ellefsen S. Use it or lose it -Importance of in-season strength maintenance in elite cyclists. *ICST*. 2014e.

Rønnestad BR, Hansen J, Vegge G, Tønnessen E, Slettaløkken G. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. *Scand J Med Sci Sports*. 2014 Jan 1. doi: 10.1111/sms.12165. [Epub ahead of print]

Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports*. 2013 Aug 5. doi: 10.1111/sms.12104. [Epub ahead of print]

Sandbakk Ø, Sandbakk SB, Ettema G, Welde B. Effects of intensity and duration in aerobic high-intensity interval training in highly trained junior cross-country skiers. *J Strength Cond Res*. 2013 Jul;27(7):1974-80. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182752f08.

Sandbakk Ø, Welde B, Holmberg HC. Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers. *J Strength Cond Res*. 2011 May;25(5):1299-305. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d82d11.

Saltin B. Aerob Arbetsformaga. Syrets vag till och forbrukning i arbetande muskulatur. *Konditionstraning* 22–37, 1988.

Saltin B. Capacity of blood flow delivery to exercising skeletal muscle in humans. *Am J Cardiol* 62: 30E–35E, 1988b.

Saltin B, Rowell LB. Functional adaptations to physical activity and inactivity. *Fed Proc* 39: 1506–1513, 1980

Schantz PG, Moritani T, Karlson E, Johansson E, Lundh A. Maximal voluntary force of bilateral and unilateral leg extension. *Acta Physiol Scand*. 1989 Jun;136(2):185-92.

Støren O, Sanda SB, Haave M, Helgerud J. Improved VO₂max and time trial performance with more high aerobic intensity interval training and reduced training volume; a case study on an elite national cyclist. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 2705–2711.

Schumacher OY, Mueller P (2002) The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1029–1036.

Fiskerstrand A, Seiler KS. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sports*. 2004 Oct;14(5):303-10.

Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1366–1373.

Seiler S, Jøranson K, Olesen BV, Hetlelid KJ. Adaptations to aerobic interval training: interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sports*. 2013 Feb;23(1):74-83. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01351.x. Epub 2011 Aug 3.

Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports*. 2006; 16(1):49-56.

Shephard RJ (1968) Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. *Int Z Angew Physiol* 26:272-278

Sjöström M1, Lexell J, Downham DY. Differences in fiber number and fiber type proportion within fascicles. A quantitative morphological study of whole vastus lateralis muscle from childhood to old age. *Anat Rec*. 1992 Oct;234(2):183-9.

Smith TP, Coombes JS, Geraghty DP: Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O₂ uptake and the time for which this can be maintained. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 337–343.

Smith, T. P., McNaughton, L. R. & Marshall, K. J. 1999. Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on VO₂max and performance in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*. 31, 892-6.

Stephens NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG: Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 736–741.

Sunde A, Støren O, Bjerkaas M, Larsen MH, Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 2157-2165.

Tadaishi M, Miura S, Kai Y, Kawasaki E, Koshinaka K, Kawanaka K, Nagata J, Oishi Y, Ezaki O. Effect of exercise intensity and AICAR on isoform-specific expressions of murine skeletal muscle PGC-1 α mRNA: a role of β_2 -adrenergic receptor activation. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2011 Feb;300(2):E341-9. doi: 10.1152/ajpendo.00400.2010. Epub 2010 Nov 23.

Tadaishi M1, Miura S, Kai Y, Kano Y, Oishi Y, Ezaki O. Skeletal muscle-specific expression of PGC-1 α -b, an exercise-responsive isoform, increases exercise capacity and peak oxygen uptake. *PLoS One*. 2011b;6(12):e28290. doi: 10.1371/journal.pone.0028290. Epub 2011 Dec 8.

Taipale RS, Mikkola J, Nummela A, Vesterinen V, Capostagno B, Walker S, Gitonga D, Kraemer WJ, Häkkinen K. Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med* 2010; 31: 468-476.

Tanaka K, Watanabe H, Konishi Y, Mitsuzono R, Sumida S, Tanaka S, Fukuda T, Nakadomo F (1986) Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55:248-252

Thevenet D, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Prioux J. Influence of recovery mode (passive vs. active) on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young and endurance-trained athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Jan;99(2):133-42. Epub 2006 Nov 7.

Tobina T, Yoshioka K, Hirata A, Mori S, Kiyonaga A, Tanaka H. Peroxisomal proliferator-activated receptor gamma co-activator-1 alpha gene expression increases above the lactate threshold in human skeletal muscle. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011 Dec;51(4):683-8.

Vikmoen O, Rønnestad BR, Ellefsen S, Raastad T. Strength training improves running and cycling performance. Abstract, ECSS 2014.

Vøllestad NK, Blom PC. Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta Physiol Scand*. 1985 Nov;125(3):395-405.

Vøllestad NK, Vaage O, Hermansen L. Muscle glycogen depletion patterns in type I and subgroups of type II fibres during prolonged severe exercise in man. *Acta Physiol Scand*. 1984 Dec;122(4):433-41.

Wahl P, Güldner M, Mester J. Effects and sustainability of a 13-day high-intensity shock microcycle in soccer. *J Sports Sci Med*. 2014 May 1;13(2):259-65. eCollection 2014b.

Wahl P, Jansen F2, Achtzehn S3, Schmitz T2, Bloch W4, Mester J5, Werner N2. Effects of high intensity training and high volume training on endothelial microparticles and angiogenic growth factors. *PLoS One*. 2014 Apr 25;9(4):e96024. doi: 10.1371/journal.pone.0096024. eCollection 2014.

Wahl P, Zinner C, Achtzehn S, Behringer M, Bloch W, Mester J. Effects of acid-base balance and high or low intensity exercise on VEGF and bFGF. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Jul;111(7):1405-13. doi: 10.1007/s00421-010-1767-1. Epub 2010 Dec 15.

Wahl, P., Zinner, C., Grosskopf, C., Rossmann, R., Bloch, W. and Mester, J. (2013) Passive recovery is superior to active recovery during a high-intensity shock microcycle. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 1384-1393.

Wen X, Wu J, Chang JS, Zhang P, Wang J, Zhang Y, Gettys TW, Zhang Y. Effect of Exercise Intensity on Isoform-Specific Expressions of NT-PGC-1 α mRNA in Mouse Skeletal Muscle. *Biomed Res Int*. 2014;2014:402175. doi: 10.1155/2014/402175. Epub 2014 Jul 2.

Wenger HA, Bell GJ (1986) The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 3:346-356

Westgarth-Taylor C, Hawley JA, Rickard S, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(4):298-304.

Weston AR, Myburgh KH, Lindsay FH, Dennis SC, Noakes TD, Hawley JA. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(1):7-13.

Wojtaszewski JF, Nielsen P, Hansen BF, Richter EA, Kiens B. Isoform-specific and exercise intensity-dependent activation of 5'-AMP-activated protein kinase in human skeletal muscle. *J Physiol*. 2000 Oct 1;528 Pt 1:221-6.

Yoshida T, Udo M, Chida M, Ichioka M, Makiguchi K, Yamaguchi T (1990) Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61:197-201

Zapico AG, Caldero'n FJ, Benito PJ, Gonza'lez CB, Parisi A, et al. (2007) Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: A longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 47: 191-196.

Åstrand PO, Rodahl KR. Physical training. Textbook of work physiology, 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1986.