Kestävyysharjoittelun intensiteetti – Suuret linjat

2019

Pekka Matomäki

www.kuntopolku.com

Lyhennelmä

Kestävyysharjoittelu jaetaan usein aerobisen ja anaerobisen kynnyksen avulla kevyeeseen peruskuntoalueeseen (Light Intensity Training, LIT), keskiraskaaseen vauhtikestäyysalueeseen (Moderate Intensity Training, MIT) ja rankkaan maksimikestävyysalueeseen (Hard Intensity Training, HIT). Näiden päälle nykytutkimukseen on vielä tullut erikseen maksimiintensiteetillä tehtävät lyhyet intervallit (Speed Interval Training, SIT). Tässä raportissa käydään läpi näitä alueita ja katsotaan mitä tutkimukset ovat sanoneet eri alueiden adaptaatioista ja harjoituksista.

Eri alueiden erottaminen toisistaan voi olla toisinaan hyvinkin teennäistä ja eräs loppupäätelmä olisikin, ettei selkeitä loppupäätelmiä aihepiiristä pystytä antamaan; jokainen harjoittelija on yksilö, joka tarvitsee yksilöllisesti juuri itselleen sopivaa harjoittelua. Muutamia poimintoja raportista voidaan vetää:

- Tehtyjen tutkimusten mukaan HIT-harjoittelu näyttäisi olevan parempaa kuin LIT/MIT-harjoittelu
- Intervalliharjoittelussa lepojaksojen pituus ei ole kovin oleellinen suure, kun työintervallin pituus on selkeästi yli 60 sekuntia. Lyhyissä työintervalleissa (<30 sek) palautuksen pituus on merkityksellisempi.
    - Erityisesti maksimaalisesti tehdyissä hyvin lyhyissä (~5 sek) sprintti-intervalleissa lepojakson pituus määrää ovatko saadut adaptaatiot kestävyysadaptaatioita vai sprinttiadaptaatioita
- HIT-harjoittelussa vaikuttavia tapoja on lueteltu olevan ainakin viisi erilaista (kuten harjoituksen kokonaisaika lähellä VO_{2max}:ia, neurolihasjärjestelmän kuormitus, kardiovaskulaarinen työ, jne.) Näistä tutkimuksissa on ehkä liiaksikin keskitytty ainoastaan kokonaisaikaan lähellä VO_{2max}:ia, jolloin kokonaiskuva HIT-harjoittelun vaikuttavista tekijöistä voi hämärtyä.
- MIT-harjoittelu ei paranna juurikaan hyvin harjoitelleilla anaerobista kynnystehoa. Se kehittyy heillä parhaiten HIT-harjoittelulla.
- Niin LIT, MIT kuin HIT-harjoittelu voivat parantaa aerobista kynnystehoa.
- Painoa on vaikea tiputtaa pelkkää kestävyysliikuntaa lisäämällä.

Sisällysluettelo

1. Johdanto 3
2. Kestävyyssuorituskyky ja sen harjoittaminen 7
3. LIT-harjoittelu 17
4. MIT-harjoittelu 25
5. HIT-harjoittelu 31
6. SIT-harjoittelu 47
7. Harjoittelumuotojen vertailua 58
8. Voiko HIT = MIT? 62
9. Intensiteetin ja pituuden ja palautuksen vaikutuksia 64
10. Harjoittelujakauma 74
11. Harjoittelutiheys 74
12. Painon tiputtaminen 77
13. Lähteet 78

1. Johdanto

Kestävyysharjoittelun rakennuspalikat ovat yksinkertaiset. Intervalliharjoittelussa valitaan toistojen määrä, työintervallin kesto ja intensiteetti sekä lepointervallin kesto ja intensiteetti. Ja näin saadaan rajaton määrä erilaisia intervalliharjoitteluja. Lisäksi kestävyysharjoittelussa on yleistä tehdä -- joidenkin mielestä perinteisiä, ikään kuin intervalliharjoittelu olisi jokin uusi keksintö – pitempiä matalatehoisia harjoitteluja. Näitä yhdistellen saadaan rajattomasti erilaisia yhdistelmiä ja periodisaatioita. Luonnollisesti nousee myös kysymyksiä: Mikä on paras tapa tehdä näitä harjoituksia? Voiko olla parasta tapaa? Kuinka kauan yhtä harjoitusmuotoa voi tehdä? Onko aloittelijoilla ja pitempään harrastaneilla eroja parhaimmasta harjoittelumuodosta?

Tässä raportissa pyritään käymään kirjallisuutta läpi ja tarkastelemaan minkälaisia adaptaatioita erilaiset kestävyysharjoittelumuodot saavat aikaiseksi ja mitä niistä ylipäätään tiedetään. Pääpaino on pitemmissä interventiotutkimuksissa ja niiden aiheuttamissa suorituskykymuutoksissa, vaikka toisinaan käydään kurkkaamassa myös akuutteja yhden harjoituksen vaikutuksia.

Raportti on laaja, mutta se ei yritä olla täydellinen. Esimerkiksi pelkästään maksimaalisintensiteettisistä harjoitteluista puhuttaessa klassiset Tabatan 20 sek/10 sek -harjoittelumuotoon (Tabata *et al.*, 1996) ja yhden klassisen 4 x 30 sek harjoittelumuodon tutkimisen käynnistäneeseen tutkimukseen (Burgomaster *et al.*, 2005) löytyy yhteensä noin 1600 viittausta tätä kirjoittaessa (kevät 2019). En ole siis edes yrittänyt käydä läpi kaikkea kirjallisuutta harjoitteluun liittyen. Niinpä raportti pyrkiikin olemaan jonkinlainen läpileikkaus aiheesta.

Kestävyysharjoittelun intensiteettien jaottelu

Kestävyysharjoittelua jaotellaan usein erilaisiin alueihin. Eri alueilla on yleensä fysiologiset selitykset ja suuressa mittakaavassa eri alueilla ajatellaan olevan erilaiset väsymiseen johtavat syyt ja harjoitusvasteet. Niinpä aerobisen ja anaerobisen kynnysten avulla saadaan perustelut kolmelle luokalle:

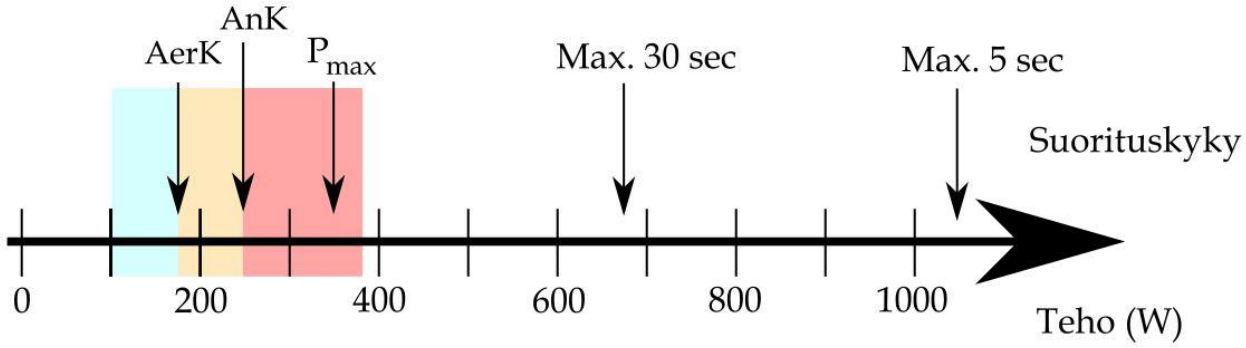
- Alle aerobisen kynnyksen tapahtuva peruskestävyysharjoittelu (Light Intensity Training, LIT);
- Kynnysten välissä vauhtikestävyysharjoittelu (Moderate Intensity Training, MIT);
- Anaerobisen kynnyksen yläpuolella tapahtuva maksimikestävyysharjoittelu (Hard Intensity Training, HIT). HIT-harjoittelu tehdään useimmiten intervallityyppisenä harjoitteluna vuorotellen kovempi- ja matalampi-intensiteettisiä jaksoja.
- Kirjallisuudessa voidaan HIT-harjoittelusta ottaa vielä erikoistapauksena maksimi-intensiteetillä tapahtuva harjoittelu (Sprint Interval Training, SIT). SIT-harjoittelussa yksittäiset työjaksot kestävät yleensä 3 – 30 sekuntia ja ne tehdään alusta loppuun maksimaalisella intensiteetillä.

Suomessa on vielä tapana jakaa LIT ja MIT kahteen alueeseen (ns. peruskestävyys 1 & 2, vauhtikestävyys 1 & 2), päätyen viiteen alueeseen (ks. taulukko 1). Tälle ylimääräiselle jaottelulle

ei kuitenkaan ole mitään selkeää fysiologista perustetta ja kyseessä lienee enneminkin terminologinen jaottelu helpottamaan harjoittelusta puhumista valmentajan ja urheilijan välillä.[1]

Taulukko 1. Viiden (5-alue) ja kolmen (3-alue) alueen jaottelut; kolmeen pisteen jaottelussa käytetään termejä Light (LIT), Moderate (MIT), ja Hard (HIT) Intensity Training. Lisäksi kuvaan on merkitty summittaiset suhteelliset hapenkulutukset ja absoluuttiset laktaattiarvot. Nämä ovat tosin hyvin yksilökohtaisia.

	5-Alue	VO_2 (% VO_{2max})	Laktaatti (mM)	3-alue
	1	40 - 50	0.8 - 1.3	LIT
AerK	2	50 - 60	1.3 - 2	
	3	60 - 73	2-3	MIT
AnK	4	73 - 85	3-4	
	5	>85	>4	HIT



Kuva 1. Tapausesimerkki erään miespolkupyöräharrastajan käytössä olevista tehoista. Taulukon 1 kolme aluetta on värikoodattu samoin värein kuin Taulukossa 1. Nähdään, että kestävyysurheilu painottuu hyvin pieneen osaan koko käytössä olevaa tehojanaa.

Hapenkulutuksella ilmoitettuna HIT-alue on yleensä noin 85 – 110 % VO_{2max}, jolloin kestävyysharjoitusalueet Taulukosta 1 jakaantuvat intensiteeteiltään noin 40 – 110 % VO_{2max} välille. Kuvasta 1 nähdään kuinka pieni tämä osa on urheilijan koko käytössä olevaan kapasiteettiin verrattuna. Niinpä voitaisiin vielä määritellä neljäs alue, *anaerobinen nopeusreservi*, joka määritellään VO_{2max}-intensiteetin ja hetkellisen maksimi-intensiteetin väliseksi alueeksi (Kuvassa 1 tehojen Max 5 sek ja P_{max} erotus). Tämä on olennainen alue kestävyysurheilussa, koska esimerkiksi aika uupumiseen 120 – 140 % VO_{2max}-kuormalla on osoitettu korreloivan nopeusreservin, mutta ei VO_{2max}-intensiteetin kanssa (Buchheit & Laursen, 2013*a*). Tämä on osoitus siitä miksi esimerkiksi 1500m juoksijan on syytä harjoitella myös puhdasta sprinttinopeutta

Mainittakoon, että juoksussa valmennuksessa käytetään usein kilpailuaikoihin perustuvia intensiteettejä ennemmin kuin fysiologisiin rajoihin (esim. harjoitusvauhteja voivat olla maratonvauhti, 5 km kisavauhti, 800m kisavauhti). Myös pyöräilyn valmennuksessa ollaan siirtymässä suorituskeskeisempään intensiteettimääritelmiin (kuten FTP: teho jota pystytään tunnin verran ylläpitämään ja kriittisen teho -ajattelun tuomiin mahdollisuuksiin määrittää intervallivauhteja). Tässä raportissa kuitenkin on päädytty käyttämään yksinomaan Taulukossa 1

[1] Joillekin voi olla helpompaa ymmärtää ”Pysy tällä palauttavalla lenkillä pk1-alueella 30 min” kuin ”Pysy tällä palauttavalla lenkillä LIT-alueen alaosassa 30 min”, joka herättää kysymyksen mikä on alaosa.

esiteltyä kolmen alueen jaottelua. Ensinnäkin siksi, että siihen on selkeä fysiologinen peruste. Toisekseen siksi, että tutkimuksissa jaottelut on tehty hyvin vaihtelevilla tavoilla: absoluuttisesti pyöräilyn tehoihin perustuen, suhteellisesti sykkeeseen tai tehoon perustuen, juoksun kisavauhteihin perustuen, laktaatteihin perustuen, kolmen alueen jaotteluun perustuen, viiden alueen jaotteluun perustuen, jne. Niinpä yhteenveto näistä kaikista on helpompi tehdä jakaen tutkimukset summittain kolmeen alueeseen kuin yksityiskohtaisempaan viiden alueen jaotteluun puhumattakaan siitä mahdottomuudesta, että pitäisi kääntää kaikki tutkimuskirjallisuus koskemaan esimerkiksi juoksun kisavauhteja.

Alueajattelun heikkouksia

Raportin pääasiallinen tarkoitus ei ole syventyä eri merkintätapoihin, mutta siitä huolimatta on syytä kirjata valitun kolmen alueen heikkouksia.

Syke vs. intensiteetti -heikkous

Ensinnäkin alueista puhuttaessa on suuri ero sillä, jaotellaanko harjoittelu sykkeen vai juoksuvauhdin tai pyöräilyn tehon mukaan. Sykkeeseen perustuvan jaottelun huono puoli on sykkeen hidas reagoiminen intensiteetin nostamiseen. Eritoten HIT-harjoittelussa syke ei välttämättä ole ”oikealla alueella” kuin puolet ajasta, jolloin kokonaisharjoitusrasittavuutta laskettaessa pelkkään sykkeeseen perustuen voidaan saada harhaanjohtavia arvioita. Intensiteetti (juoksuvauhti tai pyöräilyn teho) sen sijaan nousee heti intervallin alkaessa oikeaan alueeseen, jolloin näitä seurattaessa päästäisiin tarkempaan aluejaotteluun.[2] Niinpä esimerkiksi polarisoidun mallin tarkastelu sykedatasta voi saada sen näyttämään pyramidimallilta.

Kynnysten heikkouksia

Kolmen alueen jaottelu perustuu alueiden välillä olevien kynnysten oikeaan määrittelyyn. Tyypillisesti harjoittelussa vauhteja jaetaan paitsi kynnysten suhteen myös etenkin HIT-harjoittelussa VO_{2max}-intensiteetin suhteen. Ongelma tulee siitä, että niin kynnyksien kuin VO_{2max}-intensiteetin määrityksessä on ongelmia.

Aerobinen kynnys

Ensimmäinen selkeä heikkous aerobisessa kynnyksessä on sen määrittely. Pelkään laktaattiin perustuen voidaan kirjallisuudesta löytää 14 erilaista tapaa määritellä aerobinen kynnys (Faude *et al.*, 2009). Tyypillisimmät tavat ovat määritellä aerobinen laktaatin ensimmäisenä nousukohtana laktaattikäyrällä tai sinä intensiteettinä, jolla laktaatti on noussut ennalta annetun määrän, esimerkiksi 0,3 mmol/l, alimmasta arvosta. Näistä ensimmäinen on hyvin epämääräinen, kun taas kiinteissä laktaatin arvoissa testattavan yksilöllisyys ei tule riittävästi välttämättä esille. Niinpä aerobinen kynnys on hyvinkin heiluva määritelmä, ja se on suhteellisen herkkä testivalinnoille. Tutkimuksissa aerobisen kynnyksen toistettavuus (coefficient of variation) on ollut 5 %. Käytännössä voisi sanoa, että aerobisen kynnyksen tarkkuus on noin $\pm$ 1 porras kynnystestissä.

[2] Huomautettakoon, että juoksuvauhti on siitä huono, että se on hyvin riippuvainen alustasta, tuulesta ja maastosta. Tyynellä ilmalla radalla juostessa vauhdit ovat toiset kuin pururadalla ylämäessä.

Anaerobinen kynnys

Anaerobisen kynnyksen toistettavuutta tutkittaessa (Prud'Homme *et al.*, 1984; Coen *et al.*, 2001) se on todettu suhteellisen toistettavaksi, kun määritysmenetelmä pidetään samana (saman pituiset portaat, jne.). Anaerobisen kynnyksen toistettavuus onkin ollut keskimäärin 3,5 % (Mann *et al.*, 2013) Ongelmia tulee kuitenkin jälleen määrittelyistä: jo pelkästään laktaattiin perustuen voidaan anaerobinen kynnys määritellä 11 eri tavalla (Faude *et al.*, 2009) ja 16:lla eri tavalla ei-invasiivisesti (Bosquet *et al.*, 2002) (esim hengityskaasuihin tai sylkinäytteihin perustuen). Pikanttina lisänä voidaan mainita, että anaerobiselle kynnyksellä on annettu ainakin 37 erilaista nimitystä kirjallisuudessa (Bosquet *et al.*, 2002).

Yleinen ajatus on, että anaerobinen kynnys on kynnyksistä tarkempi määriteltävä, koska sen yläpuolella keho ei enää pysty puhdistamaan kuona-aineita yhtä nopeasti kuin niitä muodostaa. Niinpä anaerobinen kynnys voitaneen määrittää $\pm\frac{1}{2}$ portaan tarkkuudella.

VO_{2max}-intensiteetti

VO_{2max}-intensiteetti (vVO_{2max} juoksussa ja P_{max} pyöräilyssä) on tyypillisesti määritelty alimmaksi intensiteetiksi, jolla kynnystestissä saavutetaan henkilön VO_{2max}-arvo. Ongelmia tämän VO_{2max}-intensiteetin määrityksessä ovat ainakin seuraavat :

- Se on protokollariippuvainen. Neljän minuutin kuormilla VO_{2max} intensiteetti jää pienemmäksi kuin yhden minuutin kuormilla.
- Sen toistettavuus on noin 3,5 % (coefficient of variation) luokkaa (Mann *et al.*, 2013). Ei mikään erinomaisen hyvä, mutta ihan kohtalaisen hyvä.
- VO_{2max} ei välttämättä saavuta huippuarvoaan perinteisissä kynnystesteissä. On löydetty ainakin kaksi normaalista kynnystestistä eroavaa protokollaa, joilla VO_{2max} on ollut 4 – 8 % suurempi kuin perinteisellä kynnystestillä (Smirmaul *et al.*, 2013).[3] Tämän perusteella voitaisiin hieman kyseenalaistaa, onko tyypillisesti käytetty VO_{2max} -intensiteetti se mitä sen haluttaisi olevan.

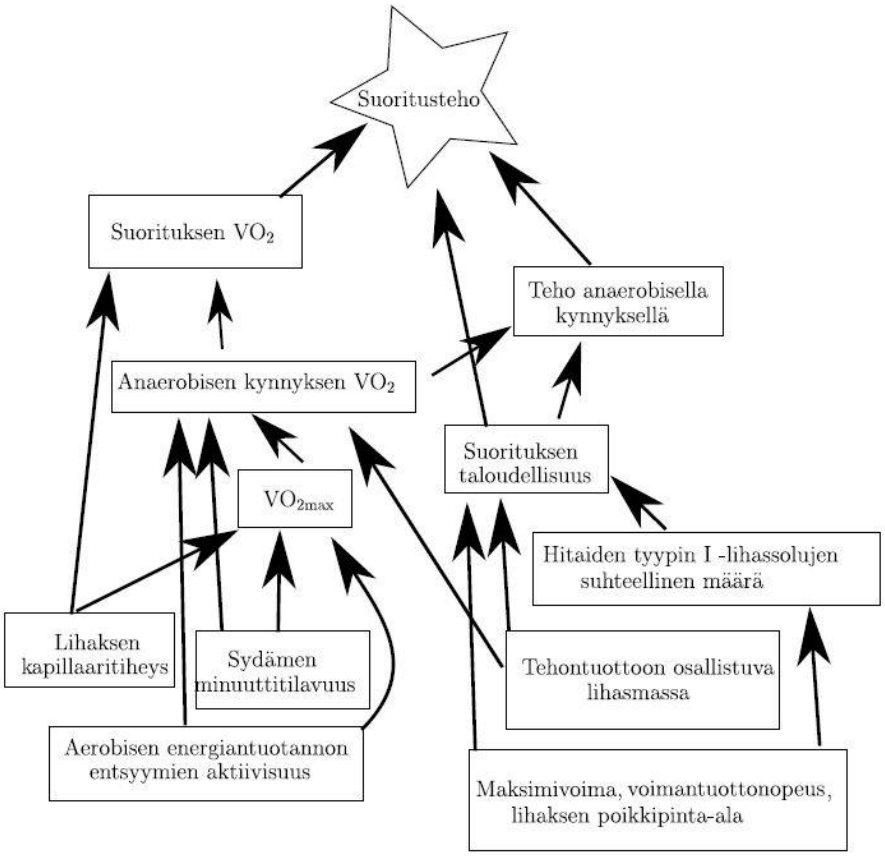
Niinpä esimerkiksi kirjallisuudessa paljon painoarvoa saanut HIT-harjoittelun "harjoituksen hapenkulutuksen kokonaisaika lähellä VO_{2max}-arvoa" -ajattelu perustuu yleensä klassisessa kynnystestissä määrättyyn VO_{2max}-arvoon ja voi siten olla väärä arvio harjoituksen vaikuttavuudesta.

Lopuksi huomautetaan vielä, että SIT-harjoittelun harjoitusalue on siitä helppo määritellä, että siinä ei tarvitse mittauksia harjoittelun vauhteihin liittyen; SIT-harjoittelussa työjaksot tehdään aina maksimaalisella (tai joissain protokollissa lähes maksimaalisella) intensiteetillä alusta loppuun.

[3] Esimerkiksi toisessa protokollassa testattavat polkivat ensin supramaksimaalisella intensiteetillä ja laskivat siitä hiljalleen intensiteettiä. Tulokseksi lopussa saatiin suurempi VO_{2max}-arvo kuin perinteisessä nousevassa mallissa.

2. Kestävyyssuorituskyky ja sen harjoittaminen

Jotta voitaisiin saada selville mitä mikäkin harjoittelu tuo urheilijalle, on ensin selvitettävä mitkä asiat voivat vaikuttaa kestävyyssuorituskykyyn. Tärkeimmiksi kestävyyssuorituskykyä selittäviksi tekijöiksi luetellaan useimmiten VO_{2max}, aerobinen ja anaerobinen kynnys sekä taloudellisuus (Jones & Carter, 2000). Kuvassa 3 on esitetty eräs monisyisempi näkemys. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi joitain suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 3. Kestävyyssuorituskykyyn vaikuttavia päätekijöitä ovat anaerobinen kynnys ja liikkumisen taloudellisuus. Huomataan, että tämän kuvion ajattelutavan mukaan VO_{2max} on tärkeä lähinnä siksi, että se määrää kuinka korkea anaerobinen kynnys voi olla. Kuvasta nähdään myös karkeasti mitkä tekijät vaikuttavat näihin tärkeimpiin mitattaviin ominaisuuksiin. Kuva muokattu (Rønnestad, 2015).

Syitä suorituksen parantumiseen

Laajasti ajatellen, kestävyysharjoittelu parantaa kehon kapasiteettia käyttää aerobisia energiantuottoväyliä (Gibala, 2015). Tämä on tosin vielä niin laaja näkemys, että sitä on syytä hajottaa osiin. Erilaisia fysiologisia syitä suoritusten parantumiseen voidaan jakaa sentraalisiin ja periferisiin. Sentraalisia ovat mm. (Laursen & Jenkins, 2002*a*):

- Sydämen, erityisesti vasemman kammion, parantunut toiminta. Iskutilavuuden (SV, Stroke volume) ja maksimaalisen minuuttitilavuuden (Q_{max}) paraneminen. Erityisesti Q_{max} korreloi vahvasti VO_{2max}:n kanssa.

- Plasman tilavuuden kasvaminen. Täten kokonaisverimäärä kasvaa, veren takaisinvirtaamisen tehostuu ja siten myös sydämen vasemman kammion täyttöaste.
- Lämpökuorman parempi kestäminen (hien eritys, psykologinen sietäminen, jne.)

Periferisiä syitä ovat mm. (Laursen & Jenkins, 2002*a*):

- Entsyymimäärien ja -tehokkuuden muutos. Toisin sanoen, työskentelevän lihaksen kyky tuottaa ja käyttää hyväksi ATP:tä.
- Aerobisten entsyymien toiminta suuremmilla intensiteeteillä. Toisin sanoen, keho ei altistu anaerobiseen energiantuottoon niin nopeasti.
- Rasvojen käytön tehostuminen (joka näkyy RER-luvun pienenemisessä). Eräs väsymisen syy on hiilihydraattivaraston pieneneminen, jolloin ”loputonta” rasvavarastoa käyttäen, väsymistä saadaan pitkitettyä.
- Bufferointikapasiteetin kasvu. Tällöin kehoa paralysoivaa happamuutta, joka vaikeuttaa mm. enstyymien toimintaa, ei pääse syntymään niin nopeasti.
- Erilaiset solutason pumppuaktiviisuuden tehostuminen, kuten Na^+-K^+ ja Ca^{2+} -pumput. Tällöin esimerkiksi lihaskäskytys toimii nopeammin sekä tehokkaammin ja lihas ehtii levätä esimerkiksi juoksuaskeleiden välissä paremmin.
- Taloudellisuus kasvaa. Tällöin suorituksen liike tehdään vähemmällä energialla ja samalla hapenkulutuksella voidaan liikkua nopeammin.
- Hormonitoiminnan muuttuminen. Esimerkiksi kortisolin ja adrenaliinin eritys suorituksen aikana vähenee (millä on mm. glykogeenia säästävä vaikutus).
- Hermojärjestelmän toiminta tehostuu: toimintamalli tehostuu energiaa säästävämmäksi, väsymystä ehkäiseväksi ja loukkaantumista minimoivammaksi (Matomäki, 2018).
- Myoglobiinivarastot kasvavat, jolloin ilmaista happea on lihaksessa saatavissa pidemmän aikaa.
- a-vO_2 -eron kasvaminen. Toisin sanoen, lihakset käyttävät suuremman osan veren kuljettamasta hapesta.
- Kapillaaritiheys kasvaa. Tällöin aineiden ja kaasujen vaihto tapahtuu lähempänä käyttökohdetta ja lihakset pääsevät nopeammin eroon kuona-aineista. Lisäksi vaihtoon on käytettävissä enemmän aikaa. Nämä vaikuttavat myös a-vO_2 -eron kasvamiseen.
- Lihassolusuhteen muuttumista IIb → IIa → I.

Kuten on huomautettu esimerkiksi artikkelissa (Gaesser *et al.*, 1984), se että joissain harjoitusinterventioissa VO_{2max} kasvaa, mutta AnK ei, tarkoittaa käytännössä, että näille kahdelle kestävyyssuoritusta selittävälle tekijälle löytyy todennäköisesti eri syyt. Käytännössä tämä tarkoittaa valmentajille hyvin tuttua ilmiötä siitä, että harjoituksissa ja harjoitusjaksoissa kannattaa olla selkeä tähtäin ja tavoite mitä harjoituksella tai harjoitusjaksolla halutaan parantaa; kaikki harjoittelu ei paranna kaikkia ominaisuuksia yhtä hyvin.

Käytännössä kestävyysharjoituksissa käy niin, että harjoitusjakson jälkeen keho on yleensä tottunut toistettuun harjoittelumuotoon. Niinpä esimerkiksi PGC1-α -esiintyvyys harjoittelussa vähenee, laktaatin määrä vähenee ja keho turvautuu enemmän rasvaan (Eigendorf *et al.*, 2018).

Sentraalinen vs. periferinen kehittyminen

Väsymisen syytä lähellä AnK-intensiteettiä tutkittaessa on todettu, että suorituksen kesto vaikuttaa sentraaliin väsymiseen, kun taas intensiteetti vaikuttaa periferiseen väsymiseen (Thomas *et al.*, 2016): Uupumiseen asti poljettu VO_{2max} kuorma aiheuttaa näin ollen suuremman periferisen väsymisen kun taas AnK-kuorma aiheuttaa sentraalista väsymistä. Samankaltaiseen lopputulokseen on päästy vertaamalla uupumiseen asti tehtyjä kuormia: > AnK (aika uupumiseen 2 – 11 min), AerK ja AnK välillä (45 minuuttia), <AerK (3h30min) (Black *et al.*, 2017): kuona-aineet aiheuttavat uupumisen suurilla intensiteeteillä (periferinen syy), kun taas matalammilla intensiteeteillä energian riittävyys ja lihaksen aktivointiongelmat (sentraalinen syy) aiheuttavat uupumisen.

Tutkimuksessa (Bonne *et al.*, 2014) ennestään aktiiviset tutkittavat tekivät 6 viikon ajan MIT-harjoittelua, jonka aikana heidän W_{max}, VO_{2max}, Q_{max} ja veren määrä nousivat. Sitten tutkijat poistivat lääkkeillä plasmaa niin, että veren määrä oli sama kuin ennen interventiota. Tämän jälkeen VO_{2max} ja Q_{max} palasivat alkuarvoihinsa. Toisin sanoen, harjoittelun alussa jotakuinkin kaikki tapahtuva aerobisen kunnon (tässä tapauksessa VO_{2max}) parannus aiheutuisi yksinomaan veren määrän kasvusta eikä sydämen rakenteellisista muutoksista. Huomionarvoista on, että vaikka VO_{2max} laski takaisin alkuarvoonsa, niin W_{max} jäi siitä huolimatta edelleen koholle (275 → 340 → 317 W). Kirjoittajat epäilivät tämän johtuneen anaerobisen energiaväylän adaptaatioista. Periferiset syyt maksimaalisen hapenoton kasvulle harjoittelun alkuvaiheessa näyttäisivät olevan siis hyvin olemattomat ainakin tämän kyseisen tutkimuksen protokollalla.

Periferiset adaptaatiot voivat taas jatkua monia kuukausia. Erityisesti eräs oletus on, että periferisiä adaptaatioita tulisi suuren LIT-harjoittelun myötä. Edelleen, kaksi kertaa päivässä harjoittelulla on potentiaalisesti enemmän hyötyä periferiseen kehitykseen verrattuna yhteen pitempään, vaikka voluumi olisi sama; syyksi on annettu adaptaatiosignaalin voimistuminen jälkimmäisessä harjoituksessa pienemmällä glykogeenivarastolla, mutta levänneillä lihaksilla. (Seiler, 2010*a*).

Variaation tarve

Muutamat tehdyt pitkittäistutkimukset ovat antaneet osviittaa siitä, että kestävyyssuorituskyky ei kehity samaa tekemällä yleisesti ottaen kauempaa kuin 10 – 20 viikkoa, eli noin 3 kk. Tämä siitäkin huolimatta, että harjoittelu pyritään pitämään progressiivisena. Tätä tukevat mm. 40 viikon MIT-tutkimus (Denis *et al.*, 1982) sekä 1 vuoden (Ring *et al.*, 2004) ja 9 kuukauden (Ring-Dimitriou *et al.*, 2007) LIT-tutkimukset.

Toisin sanoen keho vaatii variaatiota harjoitteluun. Toisaalta, ei liika variaatiokaan ole hyvästä. Esimerkiksi HIT-harjoittelussa 2 viikkoa on yleensä liian lyhyt aika, jotta mitattavissa ominaisuuksissa nähtäisiin muutoksia. Neljän viikon jälkeen muutoksia alkaa jo näkyä (Laursen & Jenkins, 2002*a*).

Variaation tarve tulee hyvin näkyviin hyvin harjoitelleiden kestävyysurheilijoiden harjoitteluinterventioissa. Näissä interventioissa verrataan kokeellista harjoitusohjelmaa tekevää ryhmää kontrolliryhmään, joka jatkaa oman ohjelmansa mukaisesti. Yleensä interventioryhmän suorituskyky paranee vähintään yhtä hyvin kuin kontrolliryhmän (Helgerud *et al.*, 2001; Bangsbo *et*

al., 2009; Iaia *et al.*, 2017). Syyksi voidaan arvella se, että he tekevät jotain uutta; tässä tapauksessa tutkijoiden kehittelemää kokeilevaa harjoitusmuotoa. Tämä uusi harjoitusmuoto antaa keholle uuden variaation, mikä johtaa uuteen kehitykseen. Samaa tekemällä ei kehitystä enää siis tapahdu. Ja koska hyvin harjoitelleilla on hyvin laaja harjoitteluhistoria, kysyy toisinaan jo mielikuvista kehitellä heille kehon kaipaamaa uutta harjoittelua, joka vieläpä sopisi urheilijan yksilöllisiin heikkouksiin ja vahvuuksiin ja ominaisuuksiin.

Taloudellisuus

Taloudellisuuden parantuminen harjoittelulla on vaikea varmentaa, koska se tapahtuu yleisesti ottaen hyvin hitaasti, etenkin enemmän harjoitelleilla yksilöillä. Lisäksi alarajaksi taloudellisuuden mittausvirheelle juoksussa eliittijuoksijoille on mitattu 2,5 % (Saunders *et al.*, 2004). Harrastelijoiden kohdalla virhe voi olla tätä suurempi. Käytännössä siis vasta yli 2,5% parannus taloudellisuudessa voidaan pitää edes jollain tasolla merkkinä parantuneesta taloudellisuudesta.

Selvää sen sijaan on, että jos esimerkiksi juoksijoiden VO_{2max} lukemat ovat samat, niin taloudellisuus on yksi vaikuttavimmista tekijöistä esimerkiksi 10 km ja maratonin loppuajassa (Conley & Krahenbuhl, 1980; Jones & Carter, 2000; Beattie, 2015). Menemättä sen tarkemmin yksityiskohtiin, taloudellisuuteen voivat vaikuttaa lihasten rekrytointimalli, lajitekniikan osaaminen, tyypin I-lihassolujen määrä, lihaksen jäykkyys (juoksussa jäykempi lihas käyttää paremmin hyödyksi SSC:tä ja tekniikasta riippuen voi olla taloudellisempi) ja jopa hengityslihasten tehokas käyttö (Jones & Carter, 2000). Se miten taloudellisuutta voi harjoituttaa on vaikeampi asia. Selkeää näyttöä on siitä, että voimaharjoittelu raskailla painoilla, räjähtävän voiman harjoittelu ja plyometriset harjoitteet (esimerkiksi loikat) parantavat todennäköisesti pyöräilyn ja juoksun taloudellisuutta ((Jones & Carter, 2000; Rønnestad & Mujika, 2014). Tällöin lihas oppii tuottamaan voimaa nopeammin ja tehokkaammin (hermostollinen paraneminen) ja lisäksi se oppii hyödyntämään elastisuutta paremmin (periferinen oppiminen) (Jones & Carter, 2000). Myös lajiharjoittelu parantaa taloudellisuutta. Lajia ennen harjoittamattomilla on havaittu ~10 % taloudellisuuden parantuminen muutamien viikkojen harjoittelun jälkeen niin soudussa (Lay *et al.*, 2002), juoksussa (Moore *et al.*, 2012), pyöräilyssä (Hintzy *et al.*, 2005) kuin konttaamisessa (Sparrow & Newell, 1994). Hyvin harjoitelleilla taloudellisuus taas lähtökohtaisesti jo niin hyvä, että sen parantuminen saattaa helposti jäädä mittauksen virhemarginaaliin. Erityisesti pyöräilyssä liikerata on niin vaivaton, että sen kerran opittua ei taloudellisuuden parantaminen pelkkää pyöräilyä tekemällä ole helposti mitattavissa. Esimerkiksi 12 viikon, 6 kertaa viikossa, tehty MIT/HIT -pyöräilyharjoittelu ei aiheuttanut taloudellisuuteen mitään vaikutusta testattavilla, joilla ei ollut käytännössä lainkaan kestävyysharjoittelutaustaa (Mendenhall *et al.*, 1994).

Aika uupumiseen

Selkeä suoritukseen vaikuttava seikka on aika uupumiseen tietyillä kuormilla. Voi olla kaksi pyöräilijää, joilla molemmilla VO_{2max}-teho on 350 W, mutta toinen jaksaa ylläpitää tätä tehoa yhtämittaisesti 7 minuuttia ja toinen vain 3 minuuttia. On selvää, että jälkimmäinen pyöräilijä on alakynnessä kilpailusuorituksessa.

Aika uupumiseen anaerobisella kynnyksen lähellä

Anaerobinen kynnys on selkeä fysiologinen kynnys, jonka yläpuolella homeostaasia ei pystytä ylläpitämään ja väsyminen tapahtuu kiihtyvällä tahdilla. Yleisesti ajatellaan, että anaerobisella kynnyksellä pystytään toimimaan noin tunnin verran. Tämä on huomattava yleistys, sillä esimerkiksi hyvin harjoitelleet pystyvät ajamaan 40km aika-ajon (~56min) 6-8 mmol laktaattitasolla, mikä on huomattavasti anaerobista kynnystä suurempi taso (Weston *et al.*, 1997). Onkin niin, ett tosiasiassa toimimisaika anaerobisella kynnyksellä vaihtelee suuresti yksilöiden välillä, eikä sille pystytä sanomaan tarkkaa arvoa ilman testausta. Tutkimuksessa (Faude *et al.*, 2017) testattiin aikaa uupumiseen anaerobisella kynnyksellä (VO_{2max}= 56 ml/kg/min). Paitsi että kyseinen testi ei ollut kovin luotettava (toistettavuuskerroin ICC=0.62), yksilöillä oli suuret erot loppuajassa, keskiarvon ollessa noin 50 minuuttia ja hajonnan 14 min (eli käytännössä noin 70 % yksilöistä osuu välille 36 – 64 min).

Edelleen, tutkimuksessa (Penteado *et al.*, 2014) testattiin juosten aikaa uupumiseen kriittiselle nopeudella (joka on hieman anaerobista kynnystä suurempi nopeus), joko jatkuvana juoksuna tai sitten 4 min/1min intervalleina. Ensinnäkin henkilöillä oli jälleen suuria eroja ajoissa uupumiseen: jatkuvasti tehtynä 11 – 30 minuuttia, ja intervallina 18 – 60 minuuttia. Tässä huomionarvoista on lisäksi kuitenkin se yksilöllinen ero, mitä lepointervallit aiheuttavat ajalle uupumiseen; esimerkiksi tutkimuksen henkilöt nro 1 ja 7 jaksoivat jotakuinkin yhtä kauan suoraa testiä: 20 ja 23 minuuttia. Sitä vastoin intervallien kanssa he jaksoivat 60 ja 29 minuuttia! Eli yksilöillä on valtavat erot harjoituksien läpikäymisissä. Siksipä esimerkiksi valmennusohjelmaa tehdessä 8 x 4 min @ CV (critical velocity) olisi ylläolevalle henkilölle 1 liian helppo, ja samaan aikaan henkilölle 7 liian rankka, siitäkin huolimatta, että heidän 20 minuutin maksimivauhtinsa on jotakuinkin yhtä suuri.

Aika uupumiseen VO_{2max}-intensiteetillä

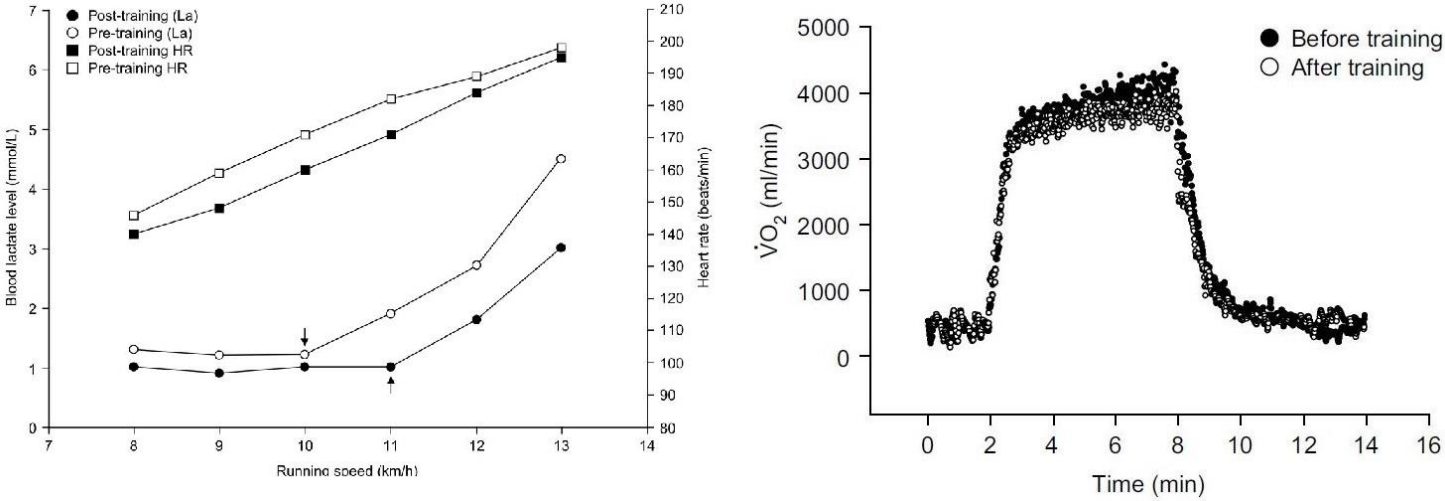
Tyypillinen testi esimerkiksi pyöräilyssä on testata mikä on suurin teho, jota pystyy ylläpitämään 5 minuutin ajan. Tämän on ajateltu olevan lähellä VO_{2max}-tehoa. Tosiasiassa aika uupumiseen VO_{2max} intensiteetillä vaihtelee huomattavasti yksilöstä toiseen. Meta-analyysin perusteella (yhteensä noin 340 testattavaa, 24 juoksututkimusta ja 2 pyöräilytutkimusta) aika uupumiseen VO_{2max}-intensiteetillä oli 5:55 hajonnan ollessa 1:01. Yksittäisissä tutkimuksissa on raportoitu eliiteillä olevan 3:40 $\pm$ 1:40, (Billat *et al.*, 1996) ja 5:20 $\pm$ 1:25 sec (Billat *et al.*, 1994) (vaihteluvälin ollessa 1:40 – 11:00), kun taas subeliiteillä 6:40 $\pm$ 1:40 (Billat *et al.*, 1994). Huomattavaa näissä on suuri hajonta mitä esimerkiksi ym. mainittu vahteluväli erinomaisesti kuvaa, ja lisäksi potentiaalisesti huompikuntoisten pidempi aika uupumiseen, mikä saattaisi johtua monestakin syystä kuten vähemmän äärimmilleen viety VO_{2max}-testi, pienempi hermolihasjärjestelmän kuormitus. Lisäksi aika uupumiseen VO_{2max} intensiteetillä on raportoitu korreloivan positiivisesti anaerobisen kynnyksen kanssa ja negatiivisesti VO_{2max} intensiteetin kanssa. Toisin sanoen, kun anaerobinen kynnys kasvaa, niin kuten johdonmukaista on, näyttäisi että myös aika uupumiseen VO_{2max} intensiteetillä kasvaa. Toisaalta suurempi VO_{2max} intensiteetti asettanee keholle suurempaa absoluuttista rasitusta keholle, jolloin aika uupumiseen taas lyhenee.

Ylipäätään aika uupumiseen VO_{2max}-intensiteetillä on niin vaihteleva ja yksilöllinen, kuten aika uupumiseen millä tahansa intensiteetillä, että yksittäisellä 5 minuutin testillä ei pystytä arvioimaan testattavan maksimaalista hapenottokykyintensiteettiä. Sillä voidaan luonnollisesti hyvinkin tarkkaan haarukoida intensiteetti, jota testattava pystyy ylläpitämään 5 minuuttia, mitä

voidaan käyttää edelleen esimerkiksi HIT-harjoittelun ohjelmoimisen pohjana ja harjoittelun seurannassa apuna.

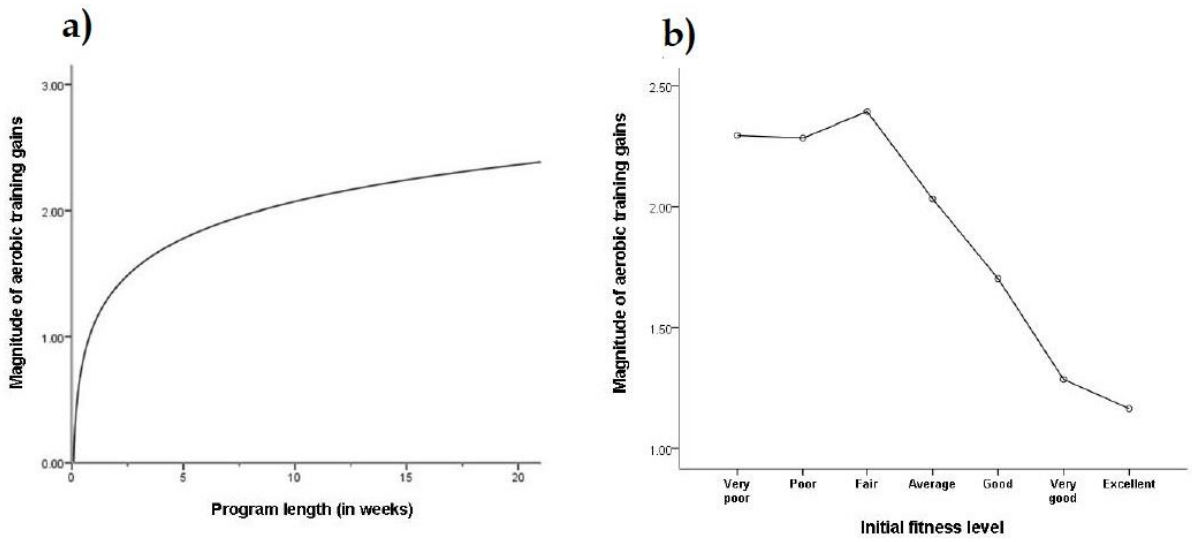
Harjoittelun näkyviä vaikutuksia

Harjoittelun näkyviä vaikutuksia ovat mm. anaerobisen kynnyksen yläpuolella näkyvän ns. hitaan VO_2-komponentin vaimentunut vaikutus sekä siirtynyt laktaattikäyrä (kuva 4).

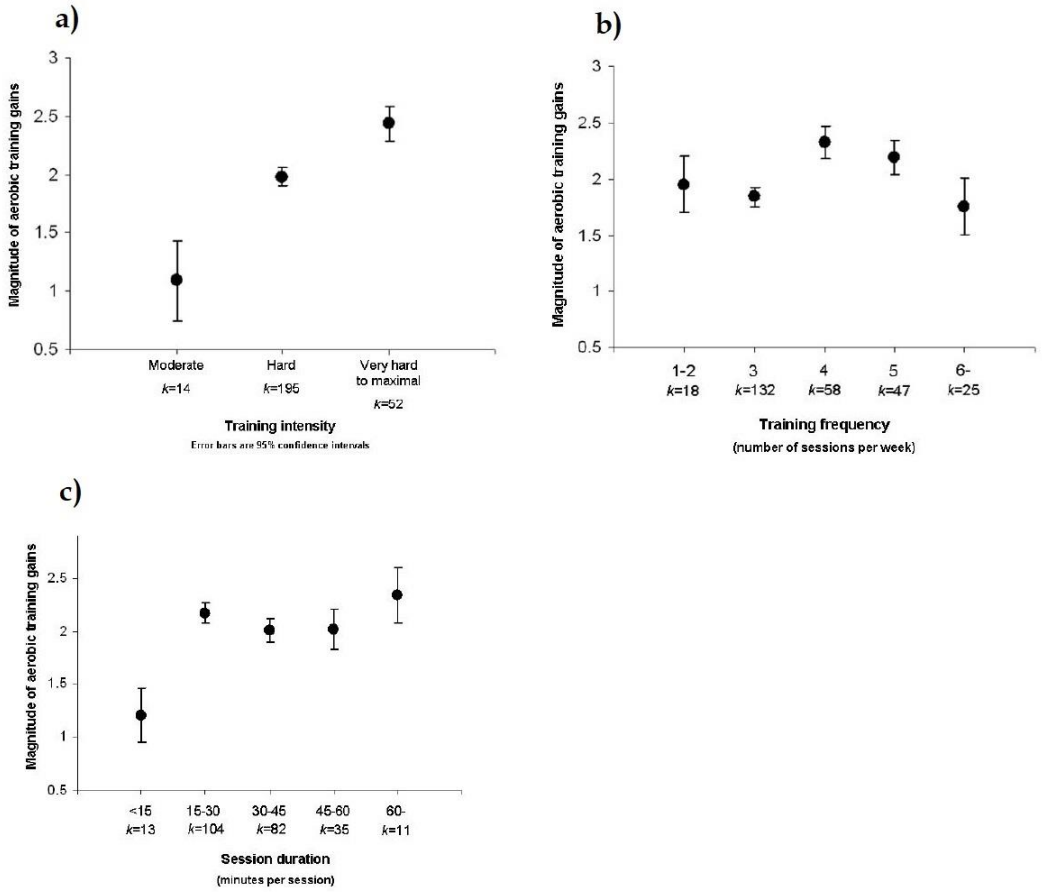


Kuva 4. 6 viikon kestävyysharjoittelun vaikutus kynnystestin syke- ja laktaattiarvoihin sekä vakiotehoisen (>AnK) harjoituksen hapenkulutukseen. Laktaattikäyrästä nähdään, että laktaatti pysyy matalalla kauemmin ja syke on matalampi samalla kuormalla. Toisessa kuvassa nähdään, että hapenkulutuksen nouseminen harjoittelun jälkeen on hidastunut. Kuva: (Jones & Carter, 2000)

Kuvassa 5 nähdään kuinka harjoitusjakson pituus ja harjoitustausta vaikuttivat maksimaaliseen hapenottokykyyn 294 tutkimuksen meta-analyysissa (Jameson & Vickers, 2010). Odotetun mukaisesti harjoitusjakson pidentyessä lisähyödyn saaminen muuttuu aina vain vaikeammaksi. Samaten huonokuntoisilla kunto nousee helpommin kuin valmiiksi hyväkuntoisilla. Kuvassa 6 nähdään kuinka intensiteetti määrää hyvin pitkälti vaikutuksen kestävyyteen, kuinka 4 kertaa viikossa tehty harjoittelu näyttäytyisi optimaalisimpana ja kuinka yksittäisen harjoituskerran pituuden olisi hyvä olla yli 15 minuuttia parhaimman hyödyn saamiseksi.



Kuva 5. **a)** Harjoitusjakson pituus viikkoina ja sen vaikutus kestävyyssuorituskykyyn. **b)** Alkuperäisen kestävyyskunnon (”harjoitushistoria”) vaikutus kunnon nousuun. Kuvassa b) voidaan olettaa, että luokissa ”very poor” – ”fair” olevien ihmisten harjoittelu ja liikkuminen on kaikilla hyvin olematonta, mikä selittää heillä yhtäläisen kehittymisen. Kuva: (Jameson & Vickers, 2010).



Kuva 6. a) Harjoittelun intensiteetin vaikutus kestävyyskunnon kohotukseen. **b)** Harjoittelun tiheyden (krt/vko) vaikutus kestävyyskunnon kohotukseen. **c)** Yksittäisen harjoituskerran pituuden vaikutus kestävyyskuntoon. Nähdään, että HIT-harjoittelu tuo selkeästi suurimmat hyödyt ja että 4 krt/vko on hyvin optimaalinen määrä, kun taas yli 6 voi jo hieman haitata kehittymistä. Edelleen, yli 15 minuutin

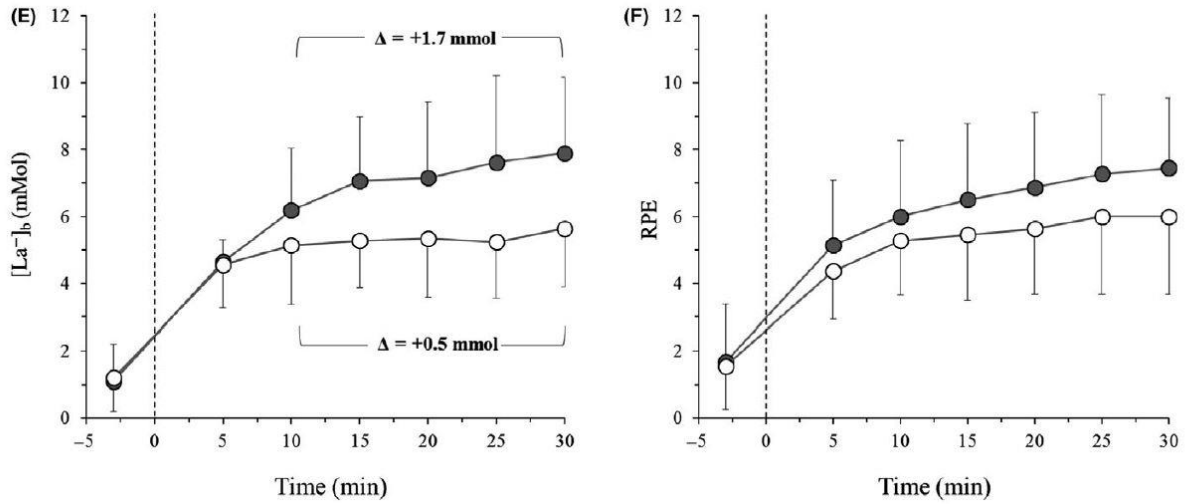
harjoitussessioissa harjoituksen laatu merkitsee enemmän kuin harjoitukseen käytetty aika; suuremmalla ajankäytöllä ei saada yksiselitteisesti parempaa tulosta. Kuva: (Jameson & Vickers, 2010).

AerK, AnK ja VO_{2max}

Kynnyksistä on paljon kirjoitettu ja siitä löytyy suomenkielistä sanottavaa esimerkiksi pyöräilyn lajianalyysista (Matomäki, 2016).

Yleisenä oletuksena on ollut, että VO_{2max} kasvaa parhaiten VO_{2max}-tai sen yli menevillä intensiteeteillä (Laursen & Jenkins, 2002*a*). Myöhemmin tässä raportissa nähdään, että tämä ei pidä paikkaansa. Harjoittelemattomilla $VO2_{max}$ kasvaa hyvin monilla eri tehoilla, kun taas hyvin harjoitelleilla VO_{2max} ei juurikaan enää kehity.

AnK:ia pidetäänkin parempana suorituskykymittarina kuin VO_{2max}, ja mittareina niiden toistettavuus on samaa luokkaa (Mann *et al.*, 2013). Tämä antaisi mahdollisuuden käyttää kunnon mittarina anaerobista kynnystestiä ennemmin kuin maksimaalista VO_{2max} -testiä. Näin testi voitaisiin tehdä useammin, se ei rasittaisi urheilijaa niin paljon ja palautuminen normaaliin harjoitteluun tapahtuisi nopeammin.

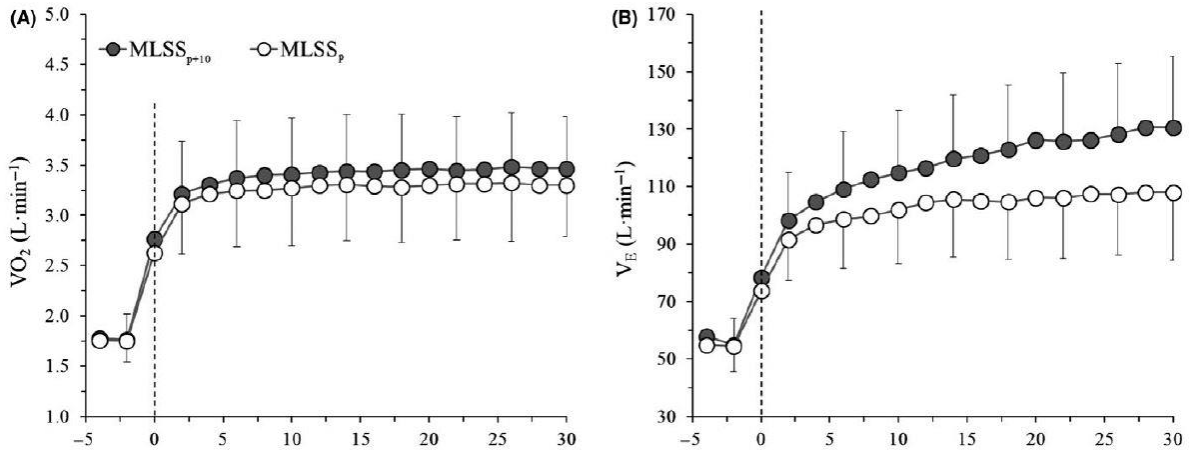


Kuva 7. 30 minuutin polkemiset AnK- ja AnK + 10 W intensiteeteillä. Laktaatti ja RPE kasvavat jälkimmäisessä, kun taas edellisessä ne ovat stabiilimpia. Eli anaerobisen kynnyksen ylittyminen 10 W on jo fysiologisesti huomattava. Kuva: (Iannetta *et al.*, 2018)

Kuvista 7 ja 8 nähdään mikä merkitys AnK-intensiteetillä on käytännössä. Kuvissa pyöräilijät ovat polkeneet 30 min AnK-teholla tai 10 W korkeammalla teholla. Jo näin pieni tehon lisäys aiheuttaa epästabiilin laktaatin kertymisen, ventilaation kasvamisen, kasvavan RPE:n, kasvavan lihasten O_2-tarpeen ja kasvavan EMG-aktiivisuuden ollen markkerina kasvavasta lihasrekrytoinnin tarpeesta jotta samaa intensiteettiä voitaisiin ylläpitää (Iannetta *et al.*, 2018). Myös aika uupumiseen korkealla intensiteetillä oli huomattavasti lyhyempi AnK + 10 W polkemisen jälkeen verrattuna AnK-polkemiseen. Toisin sanoen, anaerobinen kynnys on fysiologinen kynnys, jonka yläpuolella keho ei enää toimi stabiilissa tilassa. Huomionarvoista on, että hyvätasoisille VO_2 voi löytää stabiilin tilan myös AnK-intensiteetin yläpuolella kuten nähdään kuvasta 6.

Huonompikuntoisille näin ei välttämättä käy, vaan heillä VO_2 saattaa jatkaa kasvamista aina maksimiin asti (Buchheit & Laursen, 2013*a*).

VO_{2max} nousee maksimiarvoon jo muutaman aktiivisen ja määrätietoisen harjoittelun jälkeen. Tämän jälkeen tulosparannukset tulevat suurelta osin taloudellisuuden ja suhteellisten kynnysarvojen parannuksista (Nummela, 2017).



Kuva 8. 30 minuutin polkemiset AnK- ja AnK + 10 W intensiteeteillä. Ventilaatio kasvaa jälkimmäisessä löytämättä stabiilia tilaa. Hapenkulutus löytää tässä tapauksessa molemmissa stabiilin tason, arvatenkin tutkittavien korkeasta tasosta (W_{max} 396 W) johtuen. Kuva: (Iannetta *et al.*, 2018)

Esimerkki kynnyksistä ja suorituskyvystä

Yleisesti VO_{2max} on tärkeä kestävyyssuorituskykyä kuvaava ominaisuus, ja ajatellaan, että HIT parantaisi erityisesti tätä osaa. Ja tokihan VO_{2max} määrää urheilijan potentiaalia, mutta ennemmin epäsuorasti, sillä nykyään usein anaerobinen kynnys ja taloudellisuus asetetaan kestävyyssuorituskykyä selittävinä tekijöinä maksimaalisen hapenottokyvyn edelle (vrt. kuva 3). Koska kuitenkin 90 % VO_{2max} on korkeimpia prosentteja mitä anaerobinen kynnys voi olla maksimimaalisesta hapenottokyvystä, toki myös maksimaalinen hapenottokyky määrää urheilijoiden potentiaalin.

Oletetaan kaksi juoksijaa, A ja B, joilla molemmilla on yhtä hyvä taloudellisuus ja anaerobinen kynnys tasolla 45 ml/kg/min (noin 14,5 km/h), mutta A:lla VO_{2max} on 52 ml/kg/min ja B:llä 66 ml/kg/min. Nyt AnK:n suhteellinen osuus maksimista on A:lla 86,5 % ja B:llä 68 %. Onkin selvä, että B:llä on selkeästi parempi potentiaali kasvattaa anaerobista kynnystä ja siten myös kestävyyssuorituskykyään, kun taas A:n kannattaisi panostaa maksimikestävyyssuorituskyvyn parantamiseen, jos hän haluaisi kynnysarvojaan kasvattaa. Huomautetaan vielä, että AnK-intensiteetti ei kuitenkaan vielä yksistään kerro *suorituskyvystä* AnK-intensiteetinkään ympärillä. Kuten ”Aika uupumiseen” -aliluvussa nähtiin, yksilöillä on suuria eroja väsymisen siedossa AnK-intensiteetilläkin. Niinpä ylläolevista urheilijoista A ja B saattaa olla, että A kestää 45 ml/kg/min vauhtia 80 minuuttia kun taas B, vaikka hänellä onkin suurempi kestävyyspotentiaali, kestää samaista AnK-vauhtia vain 40 minuuttia. Niinpä nähdään, että juoksija A juoksee todennäköisesti puolimaratonin selkeästi nopeammin kuin B, vaikka pelkistä fysiologisista luvuista voisi päätellä B:n olevan selkeästi parempi urheilija.

Opetuksena olkoon, että yksittäiset suorituskyvyn mittarit eivät kerro koko kuvaa itse suorituskyvystä, mutta niistä saa hyvin osviittaa mikä kyseisellä urheilijalla on suorituskykyä eniten rajoittava tekijä. Yllä olevassa esimerkissä nopeana analyysina voisi sanoa, että urheilijan A suorituskykyä rajoittaa hänen matala maksimihapenoton tasonsa, kun taas urheilijan B suorituskykyä rajoittaa matala väsymisen sieto ja anaerobinen kynnys.

Luvun lopetus

Kestävyyssuorituskykymuutokset voidaan jakaa sentraalisiin ja periferisiin adaptaatioihin. On viitteitä, että harjoittelun alussa etenkin sentraalinen puoli kehittyisi lähinnä veren kokonaistilavuuden muutoksen kautta. Edelleen, on jonkin verran näyttöä sille, että VO_{2max} voitaisiin saada suhteellisen nopeasti nostettua lähelle henkilön potentiaalista maksimia (muutaman vuoden määrätietoinen korkeaintensiteettinen harjoittelu). Tämän jälkeen tulosparannukset tulevat mm. kynnyksien ja taloudellisuuden parantumisilla sekä pidemmällä ”aika uupumiseen”-arvosta. Tämän valossa voitaisiinkin esittää kysymys, mikä tarkoitus esimerkiksi HIT-harjoittelulla on urheilijalle kun hän on aloitteleva tai kokenut. Tähän ei luonnollisesti ole selkeää vastausta, mutta ylläolevan perusteella voisi olettaa, että aloittelevammalla VO_{2max} nostaminen on vielä olennaista, kun taas kokeneella ensisijaisina kohteina voisi olla väsymisensiedon, taloudellisuuden ja kynnysintensiteettien suhteellisen tason nostaminen.

3. LIT-harjoittelu

Yleistä esittelyä LIT-alueesta

Perinteisin kestävyysharjoittelumuoto on LIT. Viime vuosien tutkimusten mukaan eliittikestävyysurheilijat painottavatkin harjoittelussaan juuri tätä aluetta: Koko vuoden harjoittelusta sykkeen mukaan kestävyysharjoittelusta LIT:iä oli noin 80 – 90 % (Seiler, 2010*b*; Enoksen *et al.*, 2011*b*; Tønnessen *et al.*, 2014), ja loput jakaantuvat MIT ja HIT -alueiden kesken. Jos taas katsotaan tilannetta harjoituskohtaisesti (harjoituksen päätarkoitus), niin noin 70 – 80 % kestävyysharjoituksista on LIT:iä ja loput jakaantuvat MITin ja HITin kesken (Fiskerstrand & Seiler, 2004; Seiler & Kjerland, 2006).

LIT-harjoittelun on epäilty myös muuttavan lihassoluja IIb → IIa, ja on otaksuttu, että se voisi myös muuttaa lihassolusuhdetta IIa → I (Jones & Carter, 2000). Tämä voisi olla eräs selitys miksi huipputason urheilijoiden tulee tehdä paljon LIT-harjoittelua: lihassolusuhteen muutos on erittäin hidas prosessi, joten jos sitä tapahtuu, on siihen tähtäävää harjoittelua tehtävä paljon ja kauan. Voitaisiin myös esittää arvelu, että suuri LIT-harjoittelumäärä tarvitaan yksinkertaisesti ylläpitämään se poikkeuksellisen suuri tavoitettu aerobisen kunnon taso, joka eliittiurheilijoilla on. Heidän mitokondrioiden määrä, kapillaarien tiheys, entsyymien määrä, jne. ovat niin suuri, että sitä ylläpitämään tarvitaan suuri määrä ärsykettä, eikä sitä voi pelkällä HIT-harjoittelulla saavuttaa.

Valmennuspiirien puheiden mukaan LIT-harjoittelu voidaan yhdistää myös laktaattikäyrän muuttamista kestävyysurheilullisempaan suuntaan (vrt. kuva 4); ts. sanoen, LIT-harjoittelun seurauksena laktaatti pysyy kauemmin matalana ja urheilijalle muodostuu selkeämpi aerobisen kynnyksen kohta käyrälle.

LIT-harjoittelun ominaispiirteitä

Maksimaalinen hapenottokykyä on tyypillisesti pidetty aerobisen kestävyyskunnon parhaana yksittäisenä markkerina. Yleisesti HIT-harjoittelun ajatellaan nostavan parhaiten tätä arvoa, mutta heikommin harjoitelleilla myös LIT harjoittelukin auttaa maksimaalisen hapenottokyvyn kasvuun (O'Leary *et al.*, 2017).

Myös tiedetään paljon mitä fysiologisia muutoksia LIT-harjoittelu tekee kehossa. Ensinnäkin se nostaa kapillaarien määrää, mikä helpottaa veren virtaamista ja kasvattaa sitä pinta-alaa, jossa kaasut sekä metaboliset aineet siirtyvät lihaksessa. Tämä taas kasvattaa sitä aikaa, joka on käytössä aineiden siirtoon, mikä puolestaan parantaa a-vVO_2 -eroa, ja siis parantaa lihaksen kykyä ottaa verestä happea. Lisäksi LIT kasvattaa mitokondrioiden määrää ja aerobisten entsyymien määrää. Voidaan myös epäillä, että aerobinen kynnys on se intensiteetti, jolla lihaksessa lähes kaikki hitaat lihassolut on rekrytoitu käyttöön, mutta ei juurikaan nopeammin väsyviä tyypin II-lihassoluja. Tätä tukee se huomio, että eläinkokeiden mukaan aerobisen kynnyksen tuntumassa tehty harjoittelu maksimoisi mitokondrioiden kasvun I-tyypin lihassoluissa, mutta ei vaikuttaisi lainkaan II-tyypin lihassolujen mitokondrioiden määrään. (Jones & Carter, 2000). Vaikka tiedetäänkin miten LIT parantaa kestävyyttä, näyttäisi, että HIT antaisi samankaltaisia tieteellisissä töissä mitatut hyödyt, mutta pienemmällä ajankäytöllä (Gibala, 2015). Niinpä kysymykseksi jää, onko LIT-harjoittelulla jotain omanlaistansa hyötyä, jota ei muulla harjoittelulla voi saavuttaa?

Joitain tällaisia tuloksia on löydetty: LIT-harjoittelu voisi kehittää rasvankäyttöä, kapillaaritiheyttä ja verenpainetta paremmin kuin HIT-harjoittelu (Nybo *et al.*, 2010). LIT-Tosin esimerkiksi myös MIT/HIT-harjoittelun on todettu parantavan rasvametaboliaa (Mendenhall *et al.*, 1994). Tosin tässä tutkimuksessa käytettiin ennen ja jälkeen intervention samaa absoluuttista intensiteettiä, joka kasvaneen maksimin takia on suhteessa huomattavasti matalampi.

Myös palautuvuus voi olla eräs tällainen LIT-harjoittelun erikoisominaisuus; on huomattu, että hyvin harjoitelleet palautuvat nopeammin yksittäisistä harjoituksista (Jones & Carter, 2000; Seiler *et al.*, 2007). Tämän arvellaan johtuvan paljolti suuresta LIT-harjoittelun määrästä, mutta tätä ei tehdyillä poikittaistutkimuksilla ole pystytty varmentamaan.

Hieman yllättävämpi vaikutus LIT-harjoittelulla on akuutisti muistiin. On näytetty, että 10 minuutin LIT-harjoittelu parantaa akuutisti muistitestin tuloksia (Zuniga *et al.*, 2018). Syitä tähän on ehdotettu olevan mm. kasvanut aivojen verenvirtaus, kasvanut aivojen neurotransmittereiden konsentraatio ja parempi neuraalinen tehokkuus. Tutkittavat ovat lisäksi itse sitä mieltä, että LIT-tyyppinen harjoittelu auttaa muistitestiin paremmin kuin MIT harjoittelu (Oberste *et al.*, 2017).

Tutkimuksissa LIT-harjoittelun on nähty auttavan seuraavilla tavoin.

Suorituskykyyn liittyvät parannukset:

- VO_{2max} nousu (mm. Kraus *et al.*, 2002; Ring *et al.*, 2004; Duncan *et al.*, 2005; Meyer *et al.*, 2007).
- Juoksun taloudellisuuden parantuminen (Dolgener *et al.*, 1994; Helgerud *et al.*, 2007*a*)
- AerK parani sedentaareille (Yoshitake, 1990) ja aktiivisille (ei niin hyvin kuin MIT) (O'Leary *et al.*, 2017)
- AnK parani sedentaareille (Yoshitake, 1990) ja aktiivisille (ei niin hyvin kuin MIT) (O'Leary *et al.*, 2017).
- Pyöräilyn LIT/MIT-harjoittelu (60 % VO_{2max}) parantaa 90 min kuormituksen rasvankäyttöä ja VO_2-kinetiikkaa (Phillips *et al.*, 1995, 1996)

Perifeerisiä parannuksia:

- Sitraattisyntaasin (CS) aktiivisuus nousi (Gillen *et al.*, 2016)
- Insuliiniherkkyys parani (Gillen *et al.*, 2016)
- Sokerirasitus parani (Nybo *et al.*, 2010).
- Kapillaaritiheys nousi (enemmän kuin HIT-harjoittelussa) (Nybo *et al.*, 2010).
- Rasvankäyttö juoksun aikana parani (enemmän kuin HIT-harjoittelussa) (Nybo *et al.*, 2010).
- Parantunut a-vO_2-ero (MacPherson *et al.*, 2011).

Sentraalisia parannuksia:

- Verenpaine laski (Nybo *et al.*, 2010)
- Verenmäärä nousi (MIT/HIT ei) (Helgerud *et al.*, 2007*a*)
- Punasolujen määrä nousu (HIT/MIT ei) (Helgerud *et al.*, 2007*a*)
- Leposyke laski (paremmin kuin HIT-harjoittelussa) (Nybo *et al.*, 2010).
- Rasva-arvot paranivat (Kraus *et al.*, 2002; Ring *et al.*, 2004; Helgerud *et al.*, 2007*a*).

LIT-harjoittelu ei toki aina tehoa. Seuraavassa listaa asioista, joissa LIT-harjoittelu ei antanut kehitystä:

- Ei parantanut taloudellisuutta, vaikka MIT paransi (Meyer *et al.*, 2007).
- Ei parantanut iskutilavuutta vaikka HIT teki niin (Helgerud *et al.*, 2007*a*).
- Ei parantanut AerK-intensiteettiä, vaikka MIT/HIT paransi (sedentaari) (Weltman *et al.*, 1992), ja harrastaneet juoksijat (VO_{2max} 55 ml/kg/min) (Stasiulis, 2000; O'Leary *et al.*, 2017) (mahdollisesti liian pieni määrä LIT-harjoittelua).
- Ei parantanut HDL-kolesterolia niin paljon kuin MIT (Lee *et al.*, 2012).
- Tulehdusmerkit eivät parantuneet (Lee *et al.*, 2012).
- Iskutilavuus (Stroke volume, SV) ei parantunut(MacPherson *et al.*, 2011).
- Minuuttitilavuus (Cardiac output, Q_{max}) ei parantunut (MacPherson *et al.*, 2011).

Väsyminen LIT-harjoittelussa

Yli aerobisen kynnyksen harjoittelemisen on huomattu aiheuttavan nopeamman väsymisen, joko metabolisen happamoitumisen tai lihasten glykogeenivarastojen nopeamman hupenemisen seurauksena. Lisäksi aerobinen kynnys korreloi kestävyyssuorituskyvyn kanssa. (Jones & Carter, 2000). Niinpä LIT-harjoittelusta palautuminen tapahtuu nopeammin kuin MIT tai HIT-harjoittelusta, mikä voidaan todentaa esimerkiksi sykevälivaihtelumittauksilla (Stanley *et al.*, 2013): palautuminen lähtötasolle tapahtuu LIT-harjoituksesta tyypillisesti 24 tunnissa, MIT-harjoituksesta 24 – 48 tunnin aikana ja HIT-harjoituksesta > 48 tunnissa. Tämä on varmasti yksi niistä perussyistä miksi huippu-urheilijat tekevät paljon LIT-harjoittelua: he eivät yksinkertaisesti voi enää nostaa HIT-harjoittelunkaan määrää, ja LIT-harjoittelun kuormitus on vähäistä ja palautuminen nopeaa.

Aerobinen kynnys on siitä ongelmallinen, että urheilijat eivät useinkaan havaitse sitä, mutta sen ylittämiselle on usein suuri vaikutus palautumiseen, rasitukseen ja kestokykyyn (Hofmann & Tschakert, 2017). Yleisesti ollaan myös sitä mieltä, että eri alueilla (LIT/MIT/HIT) on eri mekanismit ja syyt väsymiselle, mikä perustuu aerobisen ja anaerobisen kynnyksen fysiologisiin ominaisuuksiin (Burnley & Jones, 2018): On arvioitu, että tehojen ylittäessä 10 % aerobisen kynnyksen, aika uupumiseen laskee 40 %. Niinpä LIT-harjoittelussa olisi erityisen tärkeää seurata jollain mittarilla harjoituksen intensiteettiä, koska liian suurta intensiteettiä ei helposti itse huomaa ja kynnyksen ylityksen tapahtuessa, harjoitus kuormittaa väärällä tavalla ja liikaa kehoa.

Esimerkki. Otetaan mies- ja naisharrastelijajuoksijat seuraavilla ominaisuuksilla:

- Miesjuoksija: VO_{2max}=53 ml/kg/min. Cooper: 3080m, 10 km aika: 46:00. Aerobinen kynnys = 36,5 ml/kg/min = 69 % VO_{2max}, mikä vastaa vauhtina 11 km/h (=5:27).

- Naisjuoksija: VO_{2max}= 46 ml/kg/min. Cooper: 2900m, 10 km aika: 49:00. Aerobinen kynnys= 33 ml/kg/min = 72 % VO_{2max}, mikä hänellä vastaa vauhtina 10,4 km/h (=5:45/km).

Nämä hypoteettiset juoksijat edustavat suhteellisen hyväkuntoisia kuntojuoksijoita, ja heidän aerobiset kynnyksensä ovat tyypilliset suhteessa

maksimiin. Siitäkin huolimatta aerobinen kynnysvauhti on yllättävän matala, miesjuoksijalla 5:27/km ja naisjuoksijalla 5:45/km.

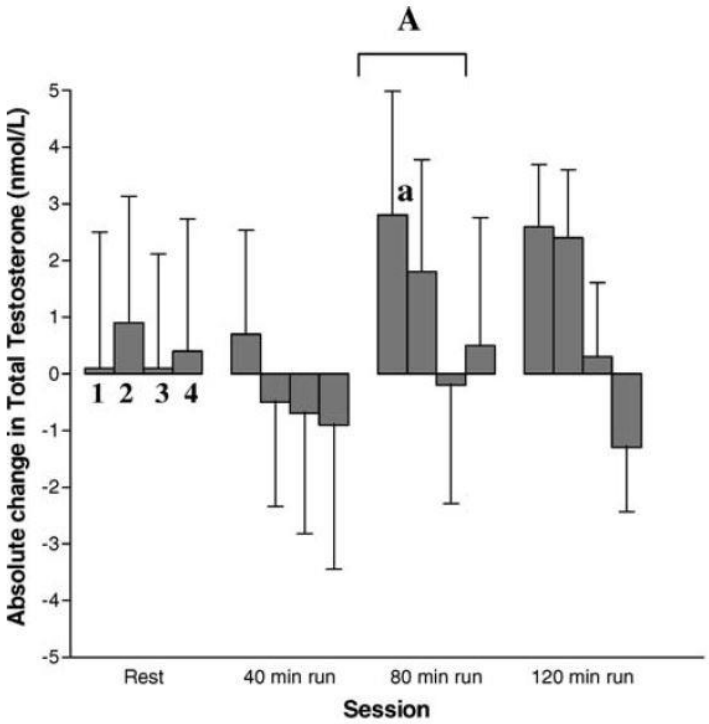
Tällä esimerkillä tahdotaan painottaa sitä seikkaa, että LIT-harjoittelun suurin vaikeus on tehdä lenkit riittävän matalalla vauhdilla, sillä LIT-harjoitusvauhti tuntuu erityisesti juosten hyvin matalalta.

LIT-harjoittelumäärän vaikutus

Perinteisesti on ymmärretty, että jotta LIT vaikuttaisi, sen tulisi jatkua riittävän pitkään. Tutkimuksessa (Tremblay *et al.*, 2005) hyväkuntoiset (VO_{2max}=67 ml/kg/min) juoksijat juoksivat 40, 80 ja 120 minuutin LIT-kuormat. Tässä tutkimuksessa testosteronitasot eivät juurikaan muuttuneet 40 minuutin kuormituksessa, mutta 80 ja 120 min kuormissa kyllä (kuva 9). Edelleen DHEAS nousi kuorman ajan kasvaessa aina vain enemmän ja kortisolitasot nousivat ainoastaan 120 minuutin kuormituksessa. Edelleen, on tutkimuksia, joista nähdään, että alle tunnin mittaiset LIT-harjoitukset eivät juuri anna näkyviä muutoksia kehon entsyymitoiminnassa (Seiler & Tønnessen, 2009; Skovgaard *et al.*, 2016). Toisin sanottuna yli tunnin suorituksessa on jo selkeästi enemmän havaittavissa erilaiset vasteet kuin 40 minuutin suorituksessa, eli riittävän pitkä harjoitus tarvitaan, jotta keho saa ärsykkeen adaptaatiolle. Mikä sitten on riittävän pitkä aika? Se riippuu hyvin pitkälti esimerkiksi harjoitustaustasta ja halutusta vasteesta. Liian pitkällä kuormituksella kortisolin määräkin alkoi jo nousta, ollen merkkinä katabolisista vaikutuksista, joten säännöllisesti ei ylipitkiä LIT-harjoituksiakaan ole syytä tehdä.

Tutkimuksessa (Dolgener *et al.*, 1994) tutkittiin LIT-harjoittelun määrän vaikutusta noviiseilla maratoonareilla. Sen mukaan 20 % suurempi määrä 15 viikon harjoittelujaksolla ei auttanut lainkaan suorituskykyyn. Tosin tutkimukseen voidaan esittää muutamia kritiikkejä. Ensinnäkin, 20 % ero (esim. 50 km/vko vs. 60 km/vko) on sen verran pieni, että erot jäänevät todennäköisesti mittausepätarkkuuden jalkoihin 15 viikon tutkimuksessa. Toisekseen, juoksua enemmän tehnyt ryhmä teki ylimääräiset lenkit lyhyinä, alle tunnin mittaisina pätkinä vähemmän juosseen ryhmän lepopäivinä. Edellä on kuitenkin jo todettu, ettei alle tunnin LIT-harjoitukset haasta juurikaan kehoa solutasolla.

Poikittaistutkimuksista saadaan tukea sille, että tietty harjoitteluvoluumi on saavutettava, jotta suoritustaso nousisi korkeimmalle tasolle. Esimerkiksi artikkelissa (Scrimgeour *et al.*, 1986) jaettiin juoksijat kolmeen ryhmään sen mukaan juoksivatko he vähän (<60km/vko), kohtuullisesti (60 – 100 km/vko) vai paljon (100 km/vko). Lopputuloksena nähtiin, että paljon juoksevien ryhmä pärjäsi kaikilla tarkastelluilla kilpailumatkoilla (≥ 10km) parhaiten.



Kuva 9. LIT-harjoituksen keston (40 min, 80 min ja 120 min) vaikutus testosteronin määrään. Palkit kuvaavat testosteronia välittömästi kuormituksen jälkeen sekä kuormitusta seuraavina tasatunteina (1 – 3h). Nähdään, että 40 minuutin juoksu ei vielä aiheuta keholle muutoksia mutta 80 min on tähän riittävän pitkä aika. Kuva: (Tremblay *et al.*, 2005).

LIT-harjoittelussa enemmän on siis paremmin jossain määrin. Yleisesti kuitenkin ajatellaan, että tietyn rajan jälkeen määrän lisääminenkään en enää auta niin entsyymien kuin maksimaalisen hapenottokyvyn suhteen (Laursen & Jenkins, 2002*a*). Esimerkiksi (Costill *et al.*, 1988) tuplasivat hyvin harjoitelleiden uimareiden uintimäärän 10 päivälle ilman muutosta mihinkään tutkittuun parametriin. Lisäksi, vaikka LIT-harjoittelusta palautuminen onkin nopeaa, niin liikaa tehtynä niistäkään ei ehdi palautua. Edelleen, esimerkiksi loukkaantumisriski alkaa kasvaa eritoten mekaanisesti rasittavimmissa lajeissa kuten juoksussa. Tällöin voi ajatella, että eliittiurheilijoiden tulisi maksimoida LIT-harjoittelu itselleen sopivalle tasolle, ja että kun riittävä taso on saavutettu, esimerkiksi pyöräilyssä 700 – 800 h/vuosi, ei määrän lisääminen ole enää itseisarvoisesti tärkeää.

Viiden kuukauden interventiossa 10 – 15 h/vko LIT-painotteinen harjoittelu (86 % @LIT, 14 % @ MIT) eliittijuniorihiihtäjillä ei vaikuttanut entsyymitoimintaa, mutta nosti kuitenkin 20 minuutin juoksumatkaa + 1,9 %. MIT-painotteisen ryhmän juoksumatka nousi kuitenkin enemmän ja heillä entsyymitoiminnassa tapahtui merkitseviä muutoksia.

Täysin teoreettisena pohdintana voitaisiin ajatella, että hyvin harjoitelleilla, joilla aerobinen kynnys on hyvin korkea (esimerkiksi pyöräilyssä > 220 W tai juoksussa > 15 km/h), aerobisen kynnyksen lähellä tapahtuva harjoittelu on suhteessa kuormittavampaa kuin huonokuntoisilla (aerobinen kynnys ~110 W pyöräilyssä tai 8 km/h juoksussa). Pienillä intensiteeteillä LIT-harjoittelun kuormittavuus on lähinnä metabolista ja kauemmin jatkuessa myös neuraalista hitaiden lihassolujen väsyessä. Jos yksilön aerobinen kynnys on kuitenkin huomattavan korkea, kuten kansallisilla huipuilla, niin tällainen intensiteetti voi alkaa rasittaa kehoa myös mekaanisesti: 15 km/h juokseminen aiheuttaa biomekaanisesti suuremman rasituksen jalkaan kuin 8-10 km/h nopeus. Niinpä vaikka aerobisella kynnyksellä harjoittelu on fysiologisesti samanlaista

niin hyvä- kuin huonokuntoisella ja hyväkuntoisella lihaksisto on paremmassa kunnossa, voi olla teoriassa myös niin, että LIT-harjoittelu rasittaisikin hyväkuntoista luurankolihastasolla eri tavalla kuin huonokuntoista. Käytännössä tämä voisi tarkoittaa, käyttäen suomalaisia pk1- pk2-termistöä, että korkean aerobisen kynnyksen omaavat eivät voi suhteessa harjoitella niin paljoa pk2-alueella kuin matalan kynnysarvon omaavat.

AerK -intensiteetin kasvu

Yleisen valmennususkomuksen mukaan aerobista kynnysintensiteettiä saa parhaiten nostettua juuri AerK-kynnyksen alapuolella tapahtuvalla harjoittelulla. Tämä onkin helppo näyttää toteen passiivisilla ihmisillä. Esimerkiksi sedentaareille keski-ikäisille naisille 6 viikon LIT-harjoittelu (3h/vko) riitti nostamaan niin AerK-vauhtia +32 % (Yoshitake, 1990). Tutkimuksia, joissa AerK-intensiteetin tuntumassa on saatu AerK-intensiteettiä kasvatettua ovat mm. (Edge *et al.*, 2006; Daussin *et al.*, 2007).

Kuitenkin, parempikuntoisilla esimerkiksi tutkimuksessa (Weltman *et al.*, 1992) HIT ja LIT harjoitusta yhdistävä ryhmä nosti AerK-intensiteettiä paremmin kuin pelkkä LIT-ryhmä. Muita esimerkkejä, joissa HIT on nostanut AerK-intensiteettiä (ja suhteellista osuutta maksimista) ovat esimerkiksi (Davis *et al.*, 1979; Daussin *et al.*, 2007; Williams *et al.*, 2013; Turnes *et al.*, 2016). On myös tutkimuksia, joissa MIT harjoittelu on vaikuttunut AerK-juoksunopeuteen, kun taas LIT-harjoittelulla siihen ei ole ollut vaikutusta (Stasiulis, 2000) tai vähäisempi vaikutus (O'Leary *et al.*, 2017). Edelleen, kohtalaisesti harjoitelleilla AerK-intensiteetin nostaminen ei välttämättä onnistu muutaman viikon jaksolla millään harjoittelulla (LIT vs. MIT vs. MIT) (Helgerud *et al.*, 2007*a*). HIT-harjoittelun vaikutus AerK-intensiteettiin voi tulla kahtakin erilaista reittiä. Ensinnäkin, HIT-harjoittelussa lämmittelyt, jäähdyttelyt ja intervallien lepojaksot tehdään LIT-intensiteetillä, joka voisi selittää AerK-intensiteetin kasvua (Turnes *et al.*, 2016). Tässä voisi lisäksi ajatella, että HIT-harjoittelu tyhjentää hiilihydraattivarastoja ja aiheuttaa ylipäätään väsymistä kehossa, jolloin HIT-harjoittelun lopussa, esimerkiksi jäähdyttelyssä, matalaintensiteettinen harjoittelu voisi haastaa kehoa jollain tapaa samalla tavalla kuin pitkän LIT-harjoittelun loppuosa. Tukea tälle saadaan kuvasta 26 luvusta 9, jossa entsyymitoiminta (ja siten oletettu adaptaatio harjoituksesta) on suurempaa, jos tehdään HIT-harjoittelu ja sen jälkeen välittömästi 60 minuutin LIT-harjoittelu verrattuna pelkkään 60 minuutin LIT-harjoitteluun. Toinen syy HIT-harjoittelu AerK-intensiteetin nostolle on HIT-harjoittelun vaikutus maksimiin: Jos maksimaalinen hapenottokyky nousee, niin vastaavasti AerK-intensiteettikin nousee, jos sen suhteellinen osuus maksimista pysyy samana.

Jälleen voidaan LIT-harjoittelusta todeta, että sen vaikutus voi tapahtua niin hiljalleen, ettei tutkimuksissa tyypillinen muutamien viikkojen aikaskaala ole riittävä sitä löytämään. Niinpä vaikka tutkimuksissa MIT/HIT-harjoittelu näyttäisikin korottavan AerK-intensiteettiä vähintään yhtä hyvin kuin LIT, voi olla, että vuoden tai kahden aikana LIT-harjoittelu tehoaisi jo paremmin. Eräs vääristävä tekijä voi olla myös tutkimusasetelmat, joita ei yleensä mietitä LIT-harjoittelun näkökulmasta. Tästä lisää pohdintaa luvun lopussa. Edelleen, MIT/HIT-harjoittelun tapauksissa AerK-intensiteetin nousuun voi olla syynä maksimin nouseminen, minkä johdosta myös aerobinen kynnysvauhti on saattanut kasvaa.

Pitkät tutkimukset

Tieteellisiä pitkiä, yli puolen vuoden tutkimuksia ei ylipäätään tehdä kovin monia, ja sama koskee LIT-harjoittelua. Ne harvat, joita on tehty, kertovat mielenkiintoisella tavalla kestävyyssuorituskyvyn parannuksesta.

Vähän liikkuville tehty 1 vuoden tutkimus, jossa harjoiteltiin LIT-alueella 2 – 4 h/vko (Ring *et al.*, 2004): VO_{2max} nousi 3kk huomattavasti (36,5 → 46,7 ml/kg/min), ja rasva-arvot sekä juoksunopeus 4mM tasolla paranivat 6 kk tasolle asti. Tutkimuksen viimeisen 6 kk aikana ei tapahtunut enempää adaptaatioita. Tämä alleviivaa ensinnäkin sitä, miten pelkkä LIT-harjoittelukin nostaa huomattavasti kuntoa, ja miten muuttumattomana pidetty harjoittelu lopettaa jossain vaiheessa kehittymisen. Samansuuntaisia tuloksia LIT-harjoittelulla on raportoitu 9 kk (Ring-Dimitriou *et al.*, 2007) ja 12 kk (Duncan *et al.*, 2005) ajanjaksoilla.

Vaikka aineisto on aika pientä, tällaisista pitkittäistutkimuksista voidaan vetää summittainen johtopäätös: keho tottuu toistettuun harjoitteluun ja kaipaa vaihtelua. Silmiin pistävin seikka on, että ensimmäisen 3 kk aikana suorituskyky harjoittelemattomilla paranee usein kaikilla mittareilla. Tämän jälkeen samaa harjoitussuunnitelmaa jatkaessa lisähyötyjä voidaan saada vielä 6 kk jälkeen, mutta sen jälkeen käytännössä mitään muutosta ei enää tapahdu. Näin ollen selkeästi uutta variaatiota olisi mielellään tuotava 3 kk välein, jos kehitystä haluaa jatkaa. Tosin on huomioitava, että vaikka esimerkiksi VO_{2max} ei kasva, niin muissa ominaisuuksissa voi tapahtua vielä edelleen muutoksia. Kahden kuukauden tapaustutkimuksessa (Raubaité *et al.*, 2013) VO_{2max} lakkasi kasvamasta 1kk jälkeen, mutta taloudellisuus parani vielä tutkimuksen jälkipuoliskolla 2 kk asti.

LIT-kirjallisuuskatsauksen haaste

Ainakin kaksi syytä aiheuttavat vaikeuksia tehdä selkeitä johtopäätöksiä LIT-harjoittelusta:

1. Hyvin monissa interventioissa, esimerkiksi vertailussa suurintensiteettisen ja matalaintensiteettisen harjoittelun välillä, matalaintensiteettinen harjoittelu on todellisuudessa MIT-harjoittelua. Esimerkiksi 65 % VO_{2max} (Gibala *et al.*, 2006), 75 % vVO_{2max} (Sheykhlouvand *et al.*, 2016) osuvat jo monilla MIT-harjoittelun puolelle. Niinpä käytännössä selkeitä LIT-harjoitustutkimuksia ei ole kovin monia tehty.
2. Edelleen, usein ollaan sitä mieltä, että LIT-harjoittelu antaa periferisiä adaptaatioita useita kuukausia tai vuosia (Seiler, 2010*a*), mutta useimmat interventiotutkimukset kestävät kuitenkin vain muutamia kuukausia.

Niinpä käytännössä kirjallisuudessa on tutkittu lähinnä HIT/MIT-harjoittelua ja LIT-harjoittelusta on yllättävän vähän tutkittua tietoa tarjolla.

Luvun lopetus

Lopetuksena voitaisiin sanoa, että LIT-harjoittelu antanee hyviä vaikutuksia suorituskykyyn, mutta sen annostelussa on oltava runsaskätinen. Toisaalta ei ole hyvä saada LIT-harjoitteluakaan määräänsä enemmän; liika on liikaa siinäkin. On myös hyvä muistaa, että esimerkiksi artikkelissa (Seiler & Tønnessen, 2009) huomautetaan, kuinka intensiteetin

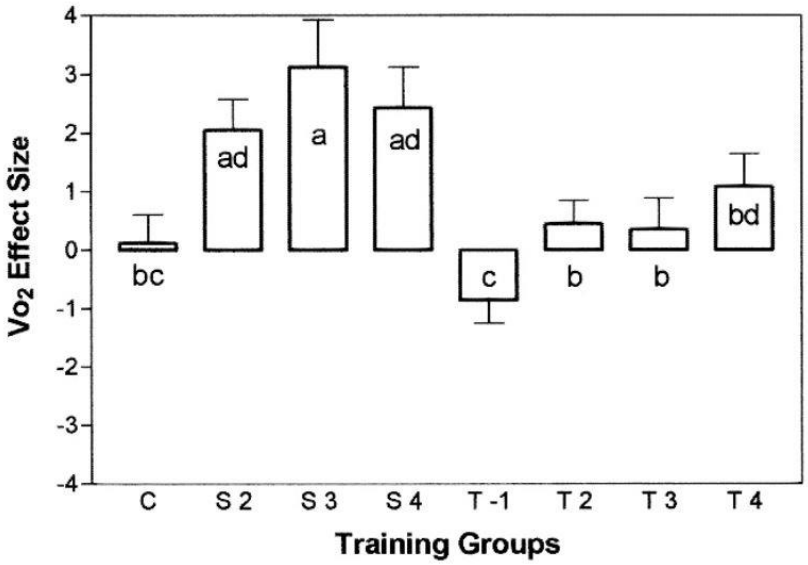
kasvattaminen (HIT-harjoitus) ja harjoituksen pituuden kasvattaminen (pitkä LIT-harjoitus) tuovat osittain päällekkäisiä adaptaatioita. Niinpä, jos tarkoitus on optimoida harjoittelu annetulla ajankäytöllä, voi olla, että MIT/HIT-harjoittelun painottaminen LIT-harjoittelun kustannuksella olisi järkevin vaihtoehto.

4. MIT-harjoittelu

Kirjallisuus tarjoaa yllättävän vähän varsinaista tutkimusta myös suoranaiseen MIT-harjoitteluun liittyen. Useimmiten sitä verrataan HIT -harjoitteluun, ja näistä vertailututkimuksista on vedettävä johtopäätökset MIT harjoittelun kohdalla.

AnK-intensiteetin kasvattaminen

Vastaavanlaisesti kuin aerobisen kynnyksen tapauksessa, myös anaerobisen kynnyksen kasvattamisesta kiertää sitkeä valmennususkomus. Sen mukaan anaerobista kynnysintensiteettiä saa parhaiten nostettua juuri AnK-kynnyksen alapuolella tapahtuvalla harjoittelulla. Erona AerK-intensiteettin kasvattamiseen, tälle on kuitenkin tehty koontitutkimus (Londeree, 1997). Se tukee osittain tätä yleistä valmennususkomusta. MIT-harjoittelu todellakin nostaa parhaiten AnK-intensiteettiä, mutta ainoastaan aloittelijoilla ja vähemmän harrastaneilla. Hieman yllättäen kokeneille MIT ei enää juurikaan vaikuta kynnyksiin, vaan heillä kynnys nousi merkitsevästi ainoastaan HIT-harjoittelulla (ks. kuvasta 10) nähdään meta-analyysin tulos, jossa harjoittelemattomilla selkein parannus kynnysintensiteettiin saatiin harjoittelemalla juuri kynnyksellä. Heille ei intensiteetin nostaminen yli kynnyksen tuonut lisäarvoa kynnykseen. Toisaalta, harjoitelleilla kynnysarvo nousi merkitsevästi ainoastaan HIT-harjoittelulla. Tämä johtunee siitä, että kokeneen juoksijan kestävyyskunto on niin hyvä, ettei vauhtikestävyysharjoittelu enää tarjoa riittävää ärsykettä kehon tasapainotilan horjuttamiseksi.



Kuva 10. Harjoittelun vaikutus AnK-intensiteettiin. Meta-analyysi, jossa harjoittelemattomat (S) ja harjoitelleet (T) ovat tehneet harjoittelua hieman AnK -intensiteetin alapuolella (S2, T2), juuri kynnyksen tienoilla (S3, T3) tai selkeästi kynnyksen yläpuolella (S4, T4). Nähdään, että harjoittelemattomilla kynnysharjoittelu S3 tuottaa suurimman hyödyn, eikä S4 tuota enää lisähyötyjä. Sen sijaan harjoitelleille ainoastaan T4 tuotti merkitsevän kasvun kynnysarvoon. Kuva: (Londeree, 1997)

Huomautettakoon, ettei MIT-harjoittelu silti välttämättä valu hukkaan. Siltä voidaan saada muita hyötyjä, kuten kilpailuvauhtiin tottumista, väsymisensiedon kasvattamista, kehon

valmistamista kovaan harjoitteluun ja kunnon ylläpitämistä. Mutta anaerobista kynnystä se ei kehitä kokeneilla niin hyvin kuin suurempi-intensiteettinen harjoittelu.

Huomionarvoista on lisäksi se, että tässäkin meta-tutkimuksessa keskityttiin ainoastaan absoluuttiseen kynnysarvoon, ei siihen kauanko tutkittava on sitä pystynyt ylläpitämään. Voi siis olla, että hyvin harjoitellutkin hyötyy MIT -harjoittelusta siten, että hän jaksaa ylläpitää kynnystehoa paremmin. Tosin, useimmat kestävyyskilpailut tapahtuvat reilusti kynnyksen yläpuolella, yhtenä selkeänä poikkeuksena maantiepyöräily, jolloin saattaa olla vaikea nähdä miten parantunut aika uupumiseen anaerobisella kynnyksellä auttaisi parempaan suoritukseen esimerkiksi 5 km juoksussa. Voisikin siis sanoa, että kokeneen urheilijan kannattaisi siirtyä MIT -harjoittelusta painottamaan enemmän HIT -harjoittelua, eli polarisoida harjoittelua. Tällainen polarisointi parantaa useimmiten hyvin harjoitelleilla paremmin tai ainakin yhtä hyvin suorituskykyä kuin MIT-painotteisempi ohjelmointi (Laursen, 2010; Hydren & Cohen, 2015). Esimerkiksi tutkimuksissa on huomattu, että ennen olympiakilpailuja huippumaratoonarit harjoittelivat 78 % alle maratonvauhtia, 4 % maratonvauhdilla ja 18 % HIT-harjoittelua (Billat *et al.*, 2001*a*). Mainittakoon myös (Muñoz *et al.*, 2014), jossa täysmatkan triatlonin loppuaika korreloi positiivisesti LIT-harjoittelumäärään ja negatiivisesti MIT-harjoittelumäärään, siitäkin huolimatta, että itse kilpailuvauhti on MIT-alueella!

MIT-harjoittelun suorituskykyhyötyjä

Vähemmän harjoitelleet, sanotaan vaikkapa ne, jotka eivät ole vielä käyttäneet MIT-polkuaan loppuun, hyötyvät kyllä suuresti MIT-harjoittelusta. Esimerkiksi tutkimuksessa (Norris & Petersen, 1998) 16 suhteellisen harjoitellutta (57 ml/kg/min) pyöräilijää teki 8 viikkoa painotettua MIT harjoittelua (4 krt/vko) ja lopputuloksena 40 km aika-ajo parani 8 %, VO_{2max} 7 % ja AnK-teho vaikuttavat 27 % (188 W → 239 W). Toisena esimerkkinä voidaan nostaa 20 viikon MIT-painoitteinen harjoittelu (~3 h/vko), jonka aikana ennestään harjoittelemattomien VO_{2max} nousi 37 → 48 ml/kg/min, vaihteluvälin ollessa +5 – 88 %, ja samalla 90 minuutin työmäärä nousi +50 % (vaihteluväli +16 – 97 %) (Lortie *et al.*, 1984). Toisin sanoen, MIT-harjoittelu on aloittelijoille erinomainen tapa nostaa suorituskykyään pitäen samalla loukkaantumisriski matalana, harjoittelumäärä maltillisena ja harjoittelu vielä suhteellisen mukavan tuntuisena. Lisäksi tässä tutkimuksessa vaihteluvälin suuruudesta saa hyvän käsityksen kuinka laaja vaste eri ihmisillä voi harjoitteluun olla. Vastaavanlaisia MIT-harjoittelun tuloksia aktiivisille tai hieman harjoitelluille on mm. artikkeleissa (Phillips *et al.*, 1995, 1996; Gibala *et al.*, 2006; O'Leary *et al.*, 2017; Pugliese *et al.*, 2018). Onkin siis ymmärrettävää, että urheilijat, jotka aiemmin ovat kokeneet selkeästi hyötyvänsä MIT-harjoittelusta eivät välttämättä uskalla hypätä kokeilemaan polarisoidumpaa harjoittelua, jossa MIT-harjoittelun määrä olisi hyvin minimaalinen.

Tosin, hyvin harjoitelleillakin on saatu muutoksia MIT-harjoittelulla: vVO_{2max} ja v_{AnK} nousivat (VO_{2max}= 70 ml/kg/min) 10 viikon MIT-painotteisen kuurin aikana, joka sisälsi kylläkin myös HIT-harjoittelua (Enoksen *et al.*, 2011*a*). Vastaavasti määrällisesti suuri kuuri MIT-harjoittelua (5kk, ~10h/vko) nosti 20 minuutin juoksumatkaa + 3,8% eliittijuniorihiihtäjillä (VO_{2max}=73 miehillä ja 58 ml/kg/min naisilla) (Evertsen *et al.*, 1999). Pelkkää MIT-harjoittelua sisältävä interventio ei tuonut hyville melojille mitattavia muutoksia (Sheykhlouvand *et al.*, 2016). Yleisesti ottaen on vaikea löytää hyvin harjoitelleille tehtyjä pelkkää MIT-harjoittelua sisältäviä tutkimuksia.

On myös näyttöä, että MIT-harjoittelun seurauksena vakiotehoisessa "aika uupumiseen"-testissä sentraalinen väsyminen saattaisi vähentyä ja periferinen kasvaa (O'Leary *et al.*, 2017). Tätä

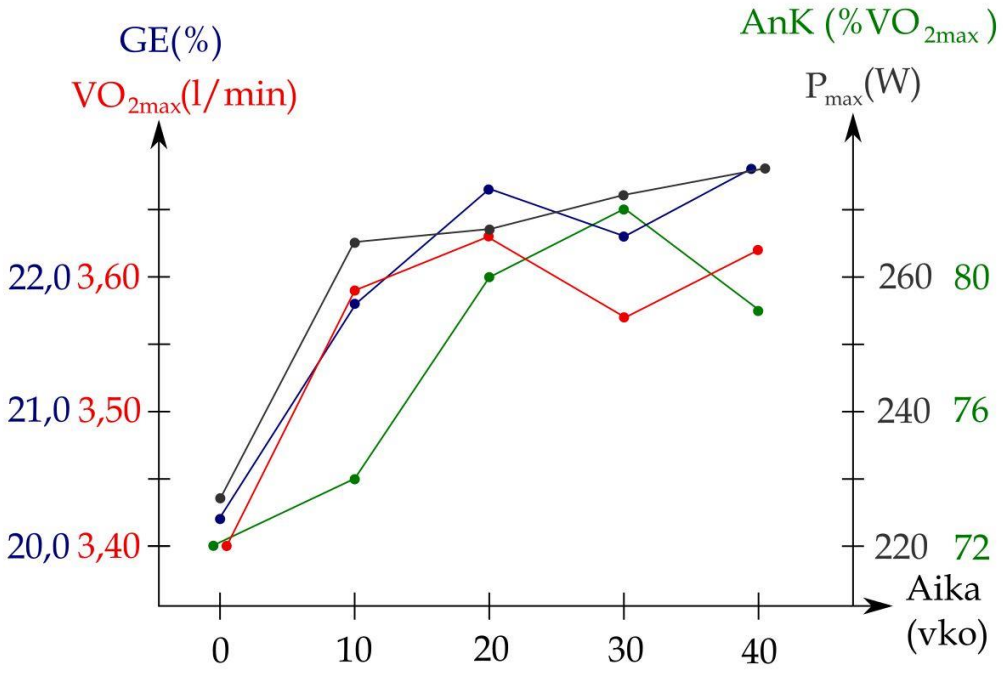
voisi myös yrittää selittää paremmalla kivun siedolla: kun kipua siedetään paremmin, jaksetaan jatkaa pidempään ja siten periferinen väsyminen lihaksissa tulee suuremmaksi.

MIT-harjoittelun tuloksena on seuraavia muutoksia havaittu.

- VO_{2max}-arvo on noussut (Meyer *et al.*, 2007).

Pitkittäistutkimus

Harvoihin pitkittäistutkimuksiin kuuluu 40 viikon interventio, jossa kolmesti viikossa suoritettiin tunnin maksimaalinen pyöräilysuoritus (Denis *et al.*, 1982) aktiivisille, mutta ennestään harjoittelemattomilla miehillä. Tässä intensiteetti vastasi noin AnK-tehoa. Intervention aikana maksimisuorituskyky (P_{max}, VO_{2max}) nousi 10 viikon ajan selvästi, mutta lopun 30 viikon aikana muutos oli hyvin pientä (vrt. kuva 11). Hyötysuhde ja suhteellinen AnK-teho (suhteessa maksimiin) kasvoivat 20 viikkoa, jonka jälkeen niidenkin harjoitettavuus loppui tällä harjoitustavalla.



Kuva 11. 40 viikon MIT-harjoittelun aiheuttamat tulosparannukset. Nähdään, että jo 20 viikon kuluessa mitatut ominaisuudet ovat maksimoituneet. Kuvan aineisto: (Denis *et al.*, 1982).

MIT-harjoittelun fysiologisia vasteita

MIT-harjoittelun on nähty kirjallisuudessa vaikuttavan seuraavasti.

Suorituskyvyn parannuksia:

- VO_{2max} nousi (Denis *et al.*, 1982; Lortie *et al.*, 1984; Norris & Petersen, 1998; Carter *et al.*, 1999; Meyer *et al.*, 2007).

- Taloudellisuus parani (Denis *et al.*, 1982; Norris & Petersen, 1998; Helgerud *et al.*, 2007*a*; Meyer *et al.*, 2007; Pugliese *et al.*, 2018), mitä LIT-harjoittelu ei tehnyt niin hyvin (Helgerud *et al.*, 2007*a*; Meyer *et al.*, 2007).
- AnK parani erityisesti aloittelijoilla ja vähän harjoitelleilla (Londeree, 1997), myös (Overend *et al.*, 1992; Norris & Petersen, 1998; Stasiulis, 2000; O'Leary *et al.*, 2017; Pugliese *et al.*, 2018).
- Parantaa AerK (Stasiulis, 2000; O'Leary *et al.*, 2017), vaikka LIT ei parantanut (mahdollisesti liian pieni määrä LIT-harjoittelua).
- 90 minuutin työmäärä + 50 % (Lortie *et al.*, 1984)
- Pyöräilyn pitkä aika-ajo parani (TT_{40km}, TT_{750kJ}) (Norris & Petersen, 1998; Gibala *et al.*, 2006) ja lyhyt aika-ajo (TT_{50kJ}) (yht hyvin kuin SIT) (Gibala *et al.*, 2006).

Perifeerisiä parannuksia:

- Mitokondrioiden aerobisen energiantuoton markkereiden (kuten CS) esiintyvyys parani (Burgomaster *et al.*, 2008).
- PGC1-α esiintyvyys parani (Burgomaster *et al.*, 2008).
- Hiilihydraatin ja PCr:n käyttö väheni 1h @ 65 % VO_{2max} (Burgomaster *et al.*, 2008)
- Kasvattavan entsyymitoimintaa (Fournier *et al.*, 1982; Svedenhag *et al.*, 1983; Evertsen *et al.*, 1999; Kubukeli *et al.*, 2002).
- Kasvattavan mitokondrioiden ja kapillaarien määrää (Åstrand *et al.*, 1960)
- kasvattavan glykogeenivarastoja (Kubukeli *et al.*, 2002);
- tehostavan Na^+-K^+ -pumpun toimintaa (Kubukeli *et al.*, 2002).

Sentraalisia parannuksia:

- HDL-kolesteroliarvo parani (paremmin kuin LIT-harjoittelussa) (Lee *et al.*, 2012).
- VO_2-kinetiikkaa parani (Overend *et al.*, 1992; Norris & Petersen, 1998).
- Iskutilavuus ja lihasmassa kasvoivat (Kivistö *et al.*, 2006; Sipola *et al.*, 2009; MacPherson *et al.*, 2011; Matsuo *et al.*, 2014) (ei niin paljon kuin pitkä-HIT-harjoittelussa (Matsuo *et al.*, 2014))
- hapen parantunut kuljetus (Saltin *et al.*, 1976; Essén *et al.*, 1977);
- Q_{max} kasvoi (MacPherson *et al.*, 2011).
- Bufferointikyky parani (Gibala *et al.*, 2006).
- Immunivaste parani (Khammassi *et al.*, 2018).
- Yhdistetty MIT/HIT-harjoittelu nosti Q_{max}-arvoa (Bonne *et al.*, 2014).
- Veren määrä lisääntyi (Kubukeli *et al.*, 2002; Bonne *et al.*, 2014);

MIT-harjoittelukaan ei aina anna parannuksia. Seuraavassa on lista, joissa ei havaittu parannuksia.

- Ei parantanut bufferointikykyä (Edge *et al.*, 2006).
- Tulehdusmerkit eivät parantuneet (Lee *et al.*, 2012).
- Wingate ei parantunut (Fereshtian *et al.*, 2017).

- Juoksijat (VO_{2max} ~ 50 ml/kg/min): ei suorituskykyparannuksia VO_{2max}, TT_{3km}, TTE @ VO_{2max} (Esfarjani & Laursen, 2007), VO_{2max} (Pugliese *et al.*, 2018).
- Happivelka ei kasvanut (Tabata *et al.*, 1996).
- Ei parantunutta a-vO2-eroa (MacPherson *et al.*, 2011).
- Ei parantanut taloudellisuutta (Overend *et al.*, 1992).
- AnK ei parantunut (VO_{2max} 48ml/kg/min ja sedentaarit) absoluuttisesti (Thomas *et al.*, 1985; Carter *et al.*, 1999) eikä suhteellisesti (Pugliese *et al.*, 2018).
- Anaerobisen energiantuotantoon liittyvien glykolyysin entsyymien aktiivisuus ei kasvanut (Evertsen *et al.*, 1999; Kubukeli *et al.*, 2002).

Immunivastetta tutkittaessa on viitteitä, että MIT-harjoittelu lymfosyyttien, neutrofiilien, monosyyttien ja leukusyyttien määrää, kun taas HIT-harjoittelu pitäisi niiden määrän ennallaan (Khammassi *et al.*, 2018).

Päätelmänä ylläolevasta listasta voisikin sanoa, että MIT-harjoittelu antaisi sekä sentraalisia että periferisiä vasteita, kuten tuntuu olevan tapaus myös LIT- ja HIT-harjoittelun kohdalla. Tyypillisesti LIT-harjoittelun on katsottu antavan enemmän sentraalisia vasteita ja HIT-harjoittelun taas periferisiä (Laursen & Jenkins, 2002*b*), voitaisiin MIT-harjoittelun nähdä olevan ikään kuin puolivälissä[4]. Tämäkin katsantokanta ehdottaisi, että kokeneiden urheilijoiden, jotka kaipaavat voimakkaita ärsykkeitä adaptaatioihin, voisi olla parempi hakea polarisoidummin vasteita LIT- ja HIT-ääripäistä ennemmin kuin hieman molempia antavasta MIT-harjoittelusta. Edelleen, aloitteleville, joille riittää pienempi ärsyke adaptaatioihin, MIT-harjoittelu on ylläolevan pohdinnan mukaan erinomainen tapa hakea monipuolista aerobista kunnon kasvua.

Luvun lopetus

MIT-harjoittelun yhteydessä törmätään harjoitushistorian vaikutukseen: hyvin harjoitelleilla vaaditaan erilaisia harjoitteita suorituskyvyn kasvuun kuin aloittelijoilla. Mikä toimi aiemmin ei toimi aina. Toisin sanoen, urheilijan kasvaessa hänen harjoitteluansa on muutettava vastaamaan hänen nykyistä kuntotasoaan. Se, että MIT-harjoittelu auttoi uran alkuvaiheessa kasvattamaan AnK-intensiteettiä tai antoi hyviä suorituskykyvasteita, ei tarkoita, että se toimisi kunnon noustua paremmalle tasolle. Hyväkuntoisen keho vaatii erilaisia, täsmällisempiä ja suurempia ärsykkeitä, jotta kehitys jatkuisi. Voidaan myös ajatella, että keho vaatii uutta variaatiota; Monta vuotta MIT-harjoittelua on saattanut epäformaalisti sanottuna, kuluttaa yhden tien loppuun ja siksipä urheilijan olisi löydettävä uusi polku.

Olisi arveluja, että etenkin harjoittelun alussa MIT toisi samanlaista kehitystä suorituskykyyn kuin HIT (Londeree, 1997; O'Donovan, 2005; Edge *et al.*, 2006), mutta MIT-harjoittelu on yleensä ottaen helpompaa niin fyysisesti kuin henkisestikin verrattuna HIT-harjoitteluun. Näin ollen:

a) Jos helpommalla työllä saa samat tulokset, kannattanee käyttää helppo työ.
b) HIT-harjoittelun aloittaminen pienellä määrällä jättää tulevaisuuteen mahdollisuuden lisätä HIT-määrää uutena vaihteluna.

[4] Tosin tämä jaottelu, missä LIT-harjoittelu antaisi sentraalisia adaptaatioita ja HIT periferisiä on saanut myös kritiikkiä osakseen (Seiler & Tønnessen, 2009; Buchheit & Laursen, 2013*b*).

Myös kehonmuokkaustutkimukset painottavat tätä asiaa; Esimerkiksi tutkimuksessa (Chiu *et al.*, 2017) ylipainoisille 3 h/viikko auttoi MIT ja HIT -ryhmässä parempaan kehonmuokkaukseen kuin LIT-ryhmässä. Kun tässä tutkimuksessa osallistujat pitivät HIT-harjoittelua vielä pahemman oloisena kuin MIT-harjoittelua, voi ylipainoiselle MIT-harjoittelu olla painonpudotuksessakin lempeämpi.

5. HIT-harjoittelu

Yleistä HIT-harjoittelusta

HIT-harjoittelun tutkimisen vaikeutena on se, että muuttujia on hyvin paljon. Yksinkertaisimmillaankin tulee valita työintervallin pituus ja intensiteetti, lepointervallin pituus ja intensiteetti, toistojen määrä, sarjojen määrä, lepojaksot sarjojen välissä, työskentelytapa (juoksu/pyörä/vesijuoksu/loikat/tms.) sekä työjakson tapa (ylämäki, hiekka-alusta, alamäki, tms.), joista tulee yhteensä yhdeksän muuttujaa. Kun lepo/työjaksot eivät ole välttämättä edes vakioita koko harjoituksen ajan (esim. pyramidisarjat, työjakson aikana kiihtyvä vauhti, tms.) nähdään että jo näistä saadaan valtavasti erilaisia muunnelmia. Kun soppaan sekoitetaan vielä mahdollisuus lisätä esimerkiksi juosten tehtyihin intervalleihin viivajuoksua (lisäten suunnanmuutoksen aiheuttaman ylimääräisen periferisen kuormituksen) tai lisätä loikkia, taitoelementtejä, voimaharjoittelua, jne. on lopputuloksena lähes mahdoton suo, jonka tutkiminen on enemmän kuin haastavaa. Niinpä HIT-harjoitteluun ei ole samanlaista selkeän konsistenttiä lähestymistä ja suosituksia kuin LIT/MIT-harjoitteluun, koska se on niin vaihteleva harjoitusmuoto (Tschakert & Hofmann, 2013).

Lepointervallien merkitys on suuri HIT-harjoittelussa. 100 % VO_{2max} on raskas intensiteetti, jota pystyy ylläpitämään tyypillisesti noin 5 – 6 minuuttia ennen uupumista. Mutta intervalleina 30 sek erissä sitä voi sopivalla palautuksella kestää jopa tunnin verran, koska laktaatti (ja sen kanssa korreloiva happamuus) ehtii levon aikana poistumaan lihaksista ja harjoitus pysyy sopivan aerobisena (Tschakert & Hofmann, 2013).

Yleisesti kirjallisuudessa erotellaan neljä erilaista HIT-harjoittelumuotoa (Buchheit & Laursen, 2013*b*):

1. Lyhyt HIT. Tällä tarkoitetaan lyhyitä työpätkiä (15 – 60 sek) lähellä VO_{2max}-intensiteettiä (90 – 120 % V_{2max}), joiden välissä on lyhyet palautusjaksot (15 – 60 sek). Esimerkiksi: 3 x (12 x 30sek @ 100 % VO_{2max}/15 sek)/3 min.
2. Pitkä HIT. Tällä tarkoitetaan ns. perinteisiä HIT-intervalleja, joissa työjakso on 2 – 8 min, intensiteetti sillä 85 – 105 % VO_{2max} ja palautusjakso yleensä 1:1. Esimerkiksi: 5 x 4 min @ 95 % VO_{2max}/4min.
3. SIT -harjoittelu. Tällä tarkoitetaan lyhyitä (10 – 45 sek) maksimaalisia vetoja, joiden välillä on pitkät palautukset (3 – 5 min). Esimerkiksi 6 x 30 sek @ maksimaalisesti / 4 min.
4. Toistetut sprintti-intervallit (Repeated Sprint Training; RST). Tässä harjoitusmuodossa tehdään hyvin lyhyitä (< 10 sek) maksimaalisia sprinttejä, joiden välissä on lyhyet palautukset (<20 sek). Esimerkiksi 2 x (10 x 4 sek @ maksimaalisesti / 16 sek)/4 min.

Näistä yleisesti tiedetään, että lyhyt-HIT aiheuttaa etupäässä periferistä väsymistä (eli muutoksia lihaksen herkkyyteen vastata aktiopontentiaalin supistuskäskyyn, ja tämä voi aiheutua esimerkiksi kalsiumin häiriintyneestä konsentraatiosta lihaksen sisällä ja muodostuneiden kuona-aineiden, kuten vetyionien ja fosfaattien, häiritsevästä vaikutuksesta) (Buchheit & Laursen, 2013*b*). Pitkä-HIT ja SIT aiheuttavat myös sentraalista väsymistä.

Onkin olemassa monia erilaisia HIT-harjoituksia, jotka tuottavat teoriassa samat metaboliset ja neurolihasjärjestelmälliset vasteet. Valmentajan tehtävä onkin osata valita

oikeanlainen HIT juuri yksilöllisesti oikealle urheilijalle oikeaan aikaan. Lisäksi eri yksilöt reagoivat eri tavoin intevalliharjoitteluun, joten samanlainen määrä ei aina ole hyvä eri yksilöille. Luvun 2 ”Aika uupumiseen” aliluvussa nähtiin kuinka kahdella eri yksilöllä aika uupumiseen ilman taukoja saattoi oli noin 20 minuuttia, mutta silti intervalleina tehtynä samoilla yksilöillä ajat uupumiseen olivat noin 30 ja 60 minuuttia. Eli toiset yksilöt palautuvat lepojakson aikana huomattavasti paremmin kuin toiset, mikä vaikuttaa suuresti siihen kokonais-HIT-harjoitteluaikaan, jota yksilölle voidaan antaa.

HIT-harjoittelu nähdään usein tapana kehittää kardiovaskulaarista systeemiä, mutta koska siinä intensiteetti on usein suuri, myös neurolihasjärjestelmä kehittyy kuin huomaamatta, erityisesti SIT- ja RST-harjoittelumallissa (Buchheit & Laursen, 2013*b*). HIT-harjoittelussa neurolihasjärjestelmän kuormitusta voidaan vielä painottaa tekemällä lepojaksoilla esimerkiksi loikkia, hyppyjä tai sprinttejä. Tällöin tosin neurolihasjärjestelmän rasitus tulee jo niin suureksi, että palautuminen pidentyy huomattavasti.

Vaikuttavia tapoja

HIT-harjoittelua pohdittaessa ainakin seuraavia muuttujia voi ottaa huomioon (Buchheit & Laursen, 2013*a*):

- Harjoituksen kokonaisaika lähellä VO_{2max} (T@VO_{2max});
- kardiovaskulaarinen tehty työ;
- kulutettu anaerobisen energian määrä;
- neurolihasjärjestelmän kuormitus;
- luurankolihaksen kokema mekaaninen kuormitus.

Tämän katsauksen kirjoittajan henkilökohtainen mielipide tällä hetkellä on, että T@VO_{2max} on saanut huomattavasti eniten mielenkiintoa lähinnä siksi, että sitä on ylläolevista vaikuttavista tekijöistä selkeästi helpointa mitata; ei ole olemassa selkeää konsensusta miten mitata tehtyä anaerobisen työn määrää; tyypillisesti käytettyjä mittareita ovat happivelkaa ja veren laktaatti, jotka molemmat sisältävät suuria ongelmia.[5] Myöskään neurolihasjärjestelmän kuormitusta tai luurankolihaksen kokemaa mekaanista kuormitusta ei pystytä selkeästi mittaamaan, eikä kardiovaskulaarinen (eli sydämen) tekemä työ ole helppoa mitata eikä sille ole ainakaan toistaiseksi keksitty selkeää harjoituskuormitusmuuttujaa.

Kokonaisaika lähellä VO_{2max}:ia

Aika lähellä VO_{2max}:ia (T@VO_{2max}) määritellään usein harjoituksessa vietetty kokonaisaika, jolla hapenkulutus on ollut yli 90 % VO_{2max}. Usein ajatellaan, että eräs HIT-harjoittelun tärkein tehtävä olisi rasittaa hapenkuljetussysteemiä, ja tuottaa tälle adaptaatioita. Yleinen ajatus onkin, että juuri T@VO_{2max} on olennaisin muuttuja, jolla voitaisiin taata korkeaintensiteettisen harjoittelun johtavat maksimaaliseen kardiovaskulaarisiin ja periferisiin adaptaatioihin (Buchheit & Laursen, 2013*a*; Tschakert & Hofmann, 2013). Päätelmä etenee niin, että suuri suhteellinen osuus maksimaalisesta hapenotosta olisi paras mahdollinen stimulus koko hapenkuljetussysteemille ja siten VO_{2max}:n kehittymiselle. Vain tällaisella harjoittelulla saavutetaan maksimaalinen sydämen minuuttitilavuus sekä kaikkien lihassolujen rekrytointi, jotka johtaisivat

[5] Kriittisen tehon/nopeuden teoriassa esiintyvä W’ olisi hyvä ehdokas anaerobisen työn määrälle, mutta toistaiseksi se ei ole lyönyt itseään laajemmin läpi (Vanhatalo *et al.*, 2011).

haluttuihin sydämen ja lihassyiden adaptaatioihin. Niinpä onkin pyritty löytämään erilaisia HIT-protokollia, joissa T@VO_{2max} olisi mahdollisimman suuri (Taulukko 1, (Buchheit & Laursen, 2013*b*)), (Midgley & Mc Naughton, 2006; Billat *et al.*, 2013). Yhdellä tasavauhtisella vedolla on vaikea ylläpitää hapenkulutusta yli 4 min lähellä VO_{2max}. Sen sijaan intervallityyppisellä harjoittelulla tyypillisesti > 10 min/harjoitus pidetään hyvänä määränä, ja parhailla protokollilla on päästy jopa yli 15 minuutin määrään. T@VO_{2max} onkin hyvä osoitus mitä hyötyä intervalliharjoittelumuodosta on yksittäiseen tasavauhtiseen vetoon verrattuna.

Käytännössä harjoitustavasta on vaikea sanoa paljonko jollekin yksilöllä T@VO_{2max} siinä on. Yksistään jo kuinka nopeasti yksilö saavuttaa VO_{2max}-arvonsa vaihtelee hurjasti ja siihen vaikuttaa harjoitustausta, VO_2-kinetiikka sekä hidas komponentti.

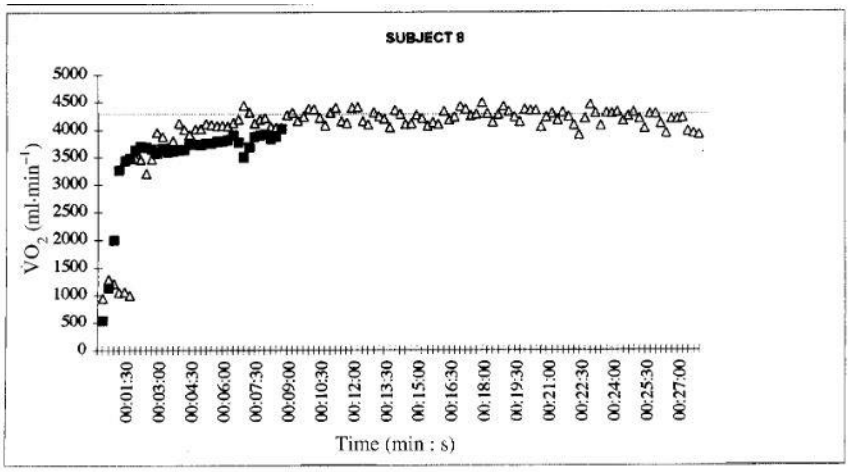
Kokooma-artikkelissa (Buchheit & Laursen, 2013*a*) käydään läpi perusteellisesti erilaisia HIT-intervallityyppejä sen suhteen, suurenko T@VO_{2max} arvon ne antavat. Jos tarkoituksena olisi maksimoida T@VO_{2max}, niin yleinen suositus heidän mukaansa olisi:

- Suhteellisen pitkät vedot (2-3 minuuttia) pitkähköillä palautuksilla (jos lepojakso on < 3 minuuttia, niin passiivisesti. Jos > 3 minuuttia niin aktiivinen palautus, jotta VO_2-ei palautuksissa laske liian paljoa). Intensiteetti olisi hyvä olla noin 100 – 110 % VO_{2max}.
- Lyhyillä vedoilla 2:1 palautus on tuonut hyviä tuloksia (esimerkiksi 30sek /15 sek tai 60 sek/30 sek). Intensiteetti >110 % VO_{2max} (vrt. kuva 12).
- Maksimivedoillakin voi päästä maksimihapenkulutukseen: RST-protokollat, joissa täyssprinttiä on >4 sek (mutta alle 10 sek) ja palautus <20 sek ylletään kohtalaisiin T@VO_{2max} määriin.
- SIT-harjoittelulla (esim. 4 x 30sek täysillä /4 min palautusta) T@VO_{2max} jää hyvin pieneski (vain noin 22sek). Tällaisessa harjoituksessa VO_2 lukema näyttää pientä, mutta happea saatetaan ottaa lihaksen myoglobiinivarastoista (Tschakert & Hofmann, 2013), jotka täydennetään lepojakson aikana. Tällöin suorituksen aikainen VO_2 lihaksessa voi olla suurempi kuin mitä suora VO_2-mittaus antaisi ymmärtää.

Teoria sille miksi T@VO_{2max} olisi tärkeä on sinänsä hyvä, mutta sille ei ole selkeää näyttöä. Esimerkiksi on syytä huomauttaa, että VO_{2max} ei enää korkeatasoisilla urheilijoilla juurikaan nouse, ja että jo muutaman täyspainoisen harjoitteluvuoden jälkeen sen kehitys on tasaantunut monissa tapauksissa. Tämä voisi antaa viitteitä jopa siitä, että korkeatasoiset kestävyysurheilijat eivät tekisi VO_{2max} harjoittelua kasvattaakseen sentraalisia vasteita, vaan ennemminkin ehkä ylläpitääkseen sentraalista osaa, parantaakseen periferistä osaa ja neurolihasjärjestelmän toimivuutta sekä kasvattaakseen aikaa uupumiseen korkeatasoisilla intensiteeteillä.

Lyhyillä HIT-vedoilla yhdistettynä lyhyihin palautuksiin (esim. 30/30s @ 100 %/50 % vVO_{2max}) ei lepojaksoilla hapenkulutus ehdi juurikaan laskea, vaikka hermolihasjärjestelmä ehtiikin jonkin verran palautua. Niinpä harjoituksen edetessä myös lepojaksot juostaan lähellä maksimihapenottotasoa. Saattaakin olla, että esimerkiksi varsinaisia työjaksoja uupumiseen saakka juoksussa on ollut 13min30sek, mutta hapenkulutus on siitä huolimatta ollut maksimissaan yli 18 minuuttia (Billat *et al.*, 2000) (kuva 12). Katso myös (Billat *et al.*, 2001*b*). Myös esimerkiksi (Turnes *et al.*, 2016) huomasivat, että supramaksimaalisella intensiteetillä (~130 % PPO)

hapenkulutus saavuttaa nopeammin VO_{2max}-arvon kuin matalammalla intensiteetillä (105 % CP), ja siten aika lähellä VO_{2max}:ia on suurempi lyhyemmillä, mutta intensiteettisimmillä vedoilla.



Kuva 12. Hapenkulutus kahdessa eri juoksuprotokollassa yhdellä tutkittavalla.
Δ: intervallijuoksua 30 sek / 30 sek @ (100 %/50 % vVO_{2max}) uupumiseen asti;
■: AnK ja VO_{2max} -vauhdin puolivälissä ilman taukoja uupumiseen.
Nähdään, että juoksija on lyhyillä intervalleilla hyvin pitkään lähellä maksimihapenottoaan (yhtenäinen viiva). Vaikka varsinaista kovaintensiteettistä juoksua on ollut harjoituksessa 13min30sek, niin T@VO_{2max} on siitä huolimatta hieman yli 18 minuuttia. Kuva: (Billat *et al.*, 2000)

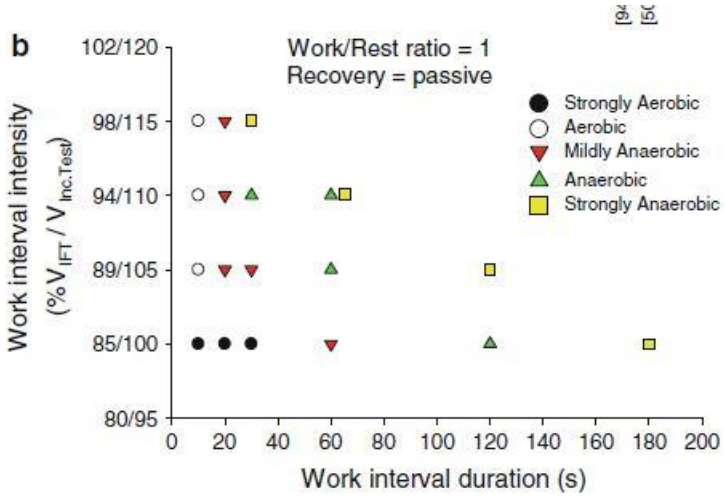
Anaerobinen kontribuutio HIT-harjoittelussa

Tyypillisesti happivelkaa ja veren laktaattimäärää on käytetty harjoittelun anaerobisen kontribuution mittareina. Kuten aiemmin mainittiin lyhyesti, näissä molemmissa on joitain ongelmia. Laktaatin ongelmia ovat muun muassa yksilökohtainen vaste, ravitsemustila, näytteiden analysointiviive näytteen otosta, eri paikasta otetun näytteen eriävät arvot (esimerkiksi korvasta vs. sormenpäästä otettu näyte) sekä se, että korrelaatio lihaksen laktaattiarvoon ei ole suoraviivainen (Buchheit & Laursen, 2013*b*). Happivelalla on myös omat ongelmansa (Bangsbo, 1998). Suurin ongelma lienee siinä, että happivelka lasketaan ekstrapoloidusta VO_2 - intensiteetti - regressiosuorasta. Kuitenkin, tässä tavassa on oletettava, että kyseinen suhde pysyy lineaarisena submaksimaalisesta tasosta supramaksimaalisille tasoille asti, mitä se ei nykytiedon valossa ole; esimerkiksi hyötysuhteen muuttuminen ja hidas VO_2-komponentti muuttavat suhdetta. Usein myös hieman suuremmilla submaksimaalisilla kuormilla anaerobinen energiantuotto vastaa osasta kokonaisenergiantuotosta, mutta tätä ei oteta useinkaan huomioon laskettaessa VO_2 – intensiteetti - regressiosuoraa. Kaiken tämän lisäksi jos regressiosuorassa otetaan vain 3 – 6 kuormaa huomioon, kuten usein tehdään, sen tarkkuus voi olla hyvinkin kehno (Matomäki, 2017). Nykyään voitaisiin anaerobista kontribuutiota laskea myös kriittisen nopeuden/tehon kuvaajasta, ja siihen liitetystä niin sanotusta W'-arvosta. Tämä on kuitenkin sen verran uusi alue, että sitä ei olla vielä otettu käyttöön muutenkin harvoissa anaerobisen kontribuution merkitystä HIT-harjoittelussa tutkivissa artikkeleissa.

Anaerobisen energiantuoton kontribuutiosta tiedetään seuraavaa (Buchheit & Laursen, 2013*b*):

- pidempi työjakso kasvattaa anerobisen energiantuotannon roolia, jopa siinä määrin, että 2:10 tai 2:30 pitkä veto suhteen 1:2 palautuksella aiheuttavat selkeän eron veren laktaattiin (6 vs. 10 mM, (Buchheit & Laursen, 2013*b*)).
- Pidempi lepojakso kasvattaa anaerobista kontribuutiota, koska pidemmän levon aikana hapenkulutus ehtii laskea alemmas, ja täten happivelka työjaksolla on suurempi.

Kuvassa 13 nähdään kuinka anaerbinen/aerobinen HIT-harjoittelu on eri työjaksoilla ja työ-intensiteeteillä, kun palautus tehdään suhteessa 1:1. Nähdään, että lyhyet intervallit (≤ 30 sek) ovat siitä hyviä, että niissä intensiteetti on hyvin suuri, mutta silti anaerobinen kuormittavuus on pientä ja täten kokonaiskuormitus niiden osalta on suhteellisen pientä. Niiden voitaisiinkin ajatella soveltuvan hyvin esimerkiksi talvella kilpailuvauhdin ylläpitäväksi harjoitteluksi.



Kuva 13. Vinc,Test=vVO2max juosten tehdyssä kynnystestissä. Kuvaan on merkitty eri intensiteettien/työjaksojen (ja vakio 1:1 -palautuksen) aerobisen/anaerobisen suhteen. Nähdään esimerkiksi, että 30 sek/30 sek harjoitus on hyvin aerobinen, kun taas tuplaten pidempi 60 sek/60 sek menee jo enemmän anaerobian puolelle. Kuva: (Buchheit & Laursen, 2013b).

Taulukkoon 2 on koottu kirjoittajien (Buchheit & Laursen, 2013*b*) näkemykset HIT-harjoittelun vaikutuksista T@VO_{2max} arvoon sekä HIT-harjoittelun rasittavuus sentraaliseen/periferiseen osaan kehoa.

Taulukko 2 . RST = toistetut sprintit (repeated sprint training). T@VO_{2max} = aika lähellä VO_{2max}:ia. Taulukko: (Buchheit & Laursen, 2013*b*).

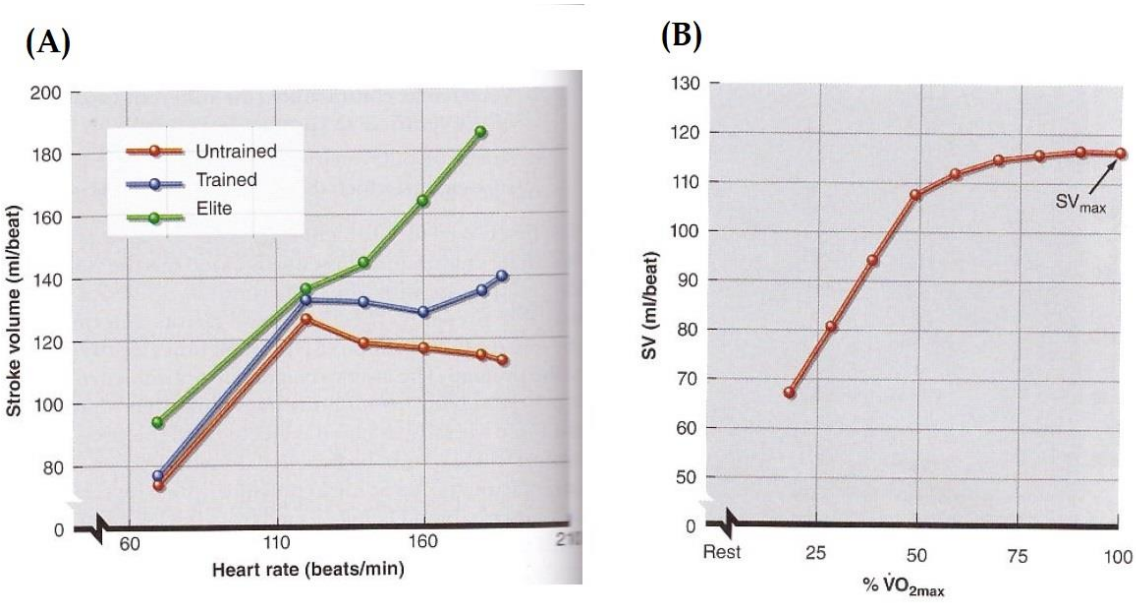
Table 1 Recommendations for the design of run-based high-intensity interval training protocols for optimizing time at maximal oxygen uptake

Format	Work duration	Work intensity[a]	Modality	Relief duration	Relief intensity	Reps and series[b]	Between-set recovery		Expected T@$\dot{V}O_{2max}$	Acute demands[c]
							Duration	Intensity		
HIT with long intervals	>2–3 min[d]	≥95 % v$\dot{V}O_{2max}$	Sport specific	≤2 min	Passive	6–10 × 2 min			>10 min	Central ++++
						5–8 × 3 min				Peripheral ++
				≥4–5 min	≤60–70 % v$\dot{V}O_{2max}$[b]	4–6 × 4 min				
HIT with short intervals	≥15 s[d,e]	100–120 % v$\dot{V}O_{2max}$ (85–105 % V_{IFT})	Sport specific	<15 s	Passive	2–3 × ≥8-min series	≥4–5 min	≤60–70 % v$\dot{V}O_{2max}$[b]	>10 min	Central +++
				≥15 s	≤60–70 % v$\dot{V}O_{2max}$ (45–55 % V_{IFT})					Peripheral ++
RST	>4 s (>30 m or 2 × 15 m)	All-out	COD jumps explosive efforts	<20 s	≈55 % v$\dot{V}O_{2max}$ / 40 % V_{IFT}	2–3 RSS (each >6 sprints)	≥6 min	≤60–70 % v$\dot{V}O_{2max}$[b]	0–3 min	Central + Peripheral +++
SIT	>20 s	All-out	Sport specific	≥2 min	Passive	6–10			0–1 min	Peripheral ++++
Game-based training	>2–3 min	Self-selected RPE >7	Sport specific[f]	≤2 min	Passive	6–10 × 2 min			>8 min	Central ++
						5–8 × 3 min				Peripheral +++
						4–6 × 4 min				

HIT-harjoittelu ja sydämen iskutilavuus

Maksimaalisen iskutilavuuden kuormitus voi olla oleellinen sydämen toiminnan kehittämiseksi. Suuressa mittakaavassa katsottuna eliittiurheilijoilla iskutilavuus on porrastestissä suurin lähellä VO_{2max} -arvoa (katso kuva 14(A)). Tosin yksittäin katsottuna tätäkin näkemystä voidaan haastaa (katso kuva 15). Harjaantumattomilla sitä vastoin iskutilavuus voi olla suhteellisen korkea jo aerobisen kynnyksen tietämillä (kuva 14 (B)). Tällöin iskutilavuutta harjoittaakseen aloittelevan harrastajan kannattaisikin panostaa LIT/MIT -harjoitteluun. Iskutilavuutta ei ole kovin paljoa tutkittu, joten siitä ei niin paljoa tiedetä kuin esimerkiksi muuttujasta aika lähellä VO_{2max}:ia. Iskutilavuus käyttäytyy koko harjoituksen jaksolla kuitenkin yllättävästi: Iskutilavuus on usein intervalliharjoittelussa lepojaksoilla hyvin suurta (Kuva 15); esimerkiksi kynnystestin jälkeen iskutilavuus on suurin välittömästi testin päättymisen jälkeen. Lisäksi lyhyillä supramaksimaalisilla intensiteeteillä iskutilavuudeksi tulee helposti suurempi kuin kynnystestillä tai submaksimaalisilla nopeuksilla (Fontana *et al.*, 2011) (ks. myös kuva 15). Niinpä esimerkiksi 30 sekunnin SIT-harjoittelussa vaikka hapenkulutus tai syke ei ehdikään reagoimaan, niin iskutilavuus niissäkin

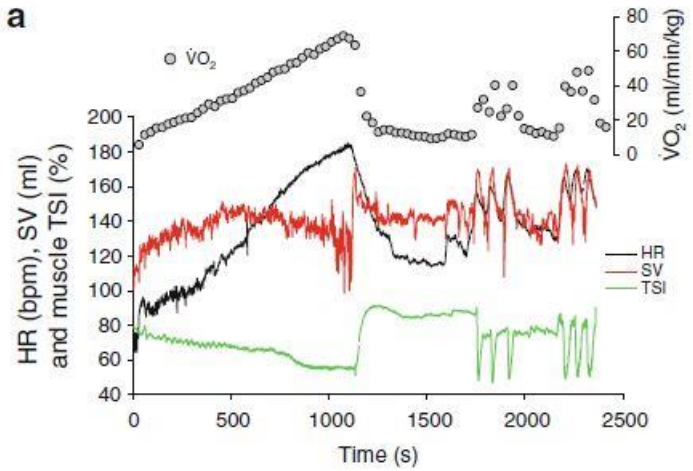
kasvaa suuriksi (Fontana *et al.*, 2011) ja siten myös SIT-harjoittelukin haastaa sydäntä ja siten kehon sentraalista osaa eikä pelkkää periferistä osaa kehosta.



Kuva 14. (A) Sydämen iskutilavuuden kasvu intensiteetin kasvaessa eliittiurheilijalla, harjoitelleella ja tottumattomalla. Nähdään, että eliittiurheilijalla iskutilavuus ei tasaannut missään vaiheessa. (B) Harjaantumattomalla iskutilavuus intensiteetin suhteen piirrettynä. Huomataan, että jo 50 – 60 % VO_{2max} intensiteetillä iskutilavuus on lähellä maksimaalista. Edelleen, aerobinen kynnys asettuu noin 50 – 65 % VO_{2max} intensiteetille. Näin ollen aloitteleva harrastaja voi harjoituttaa iskutilavuuttaan jo hyvin matalilla tehoilla. Kuva: (Kenney *et al.*, 2015, ss. 199-200)

Jos HIT-harjoittelulla halutaankin maksimoida juuri iskutilavuus, tulisi protokollassa palautusjakson olla suhteellisen pitkä. Esimerkiksi (Buchheit & Laursen, 2013*a*):

- Pitemmissä vedoissa työjakso >3 min ja palautusjakso > 2 min.
- Lyhyissä vedoissa työjakso 15 – 30 sek ja palautusjakso >45 sek.



Kuva 15. Hyvin harjoitellun urheilijan hapenkulutus (VO_2), syke (HR), iskutilavuus (SV) ja lihaksen happisaturaatio (TSI). Testattava on tehnyt suoran kynnystestin loppuun asti, jonka jälkeen hänellä on ollut lepojakso, jota seurasi kaksi sarjaa 3 toiston supramaksimaalista sprintti-intervallia (15 sek/45 sek lepo). Nähdään, että iskutilavuus on koko kynnystestin jälkeisen lepojakson hyvin korkealla verrattuna kynnystestin maksimiarvoon ja nousee supramaksimaalisissa intervalleissa korkeammalle kuin kynnystestissä. Kuva: (Buchheit & Laursen, 2013*a*)

Se, että etenkin hyväkuntoisilla HIT on ainoa tapa maksimaalisesti haastaa iskutilavuus kumoaisi uskomusta, että HIT-harjoittelu kehittäisi pääsääntöisesti periferiaa, kuten myös huomautetaan artikkelissa (Seiler & Tønnessen, 2009). He myös haastavat käsitystä, että LIT antaisi yhtä adaptaatiota ja HIT toista; paljon todennäköisemmin molemmat antavat sekä periferistä että sentraalista adaptaatiota, painotukset voivat vain olla hieman erilaiset. On olemassa eriäviä näkemyksiä kumpi harjoittelumuoto antaa sitten enemmän perifeerisiä ja kumpi sentraalisia vasteita. Esimerkiksi artikkelissa (Laursen & Jenkins, 2002*a*) kannatetaan näkemystä, että LIT antaisi sentraalista ja HIT perifeerista adaptaatiota, kun taas esimeriksi artikkeleissa (Helgerud *et al.*, 2007*a*; Seiler & Tønnessen, 2009) annetaan ymmärtää, että painotus voisi olla toisin päin.

Neurolihasjärjestelmän vaste HIT-harjoittelussa

Neurolihasjärjestelmän kuormitus HIT-harjoittelussa vaikuttaa esimerkiksi seuraavilla tavoin (Buchheit & Laursen, 2013*b*):

- HIT-käyttäytymisenä ja maksimaalisena aikana lähellä VO_{2max}:ia; jos neurolihasjärjestelmän kuormitus kasvaa, laskee vastaavasti T@VO_{2max}.
- vaikuttaa palautusaikaan ja mahdollisesti pidentää palautuspäiven määrää seuraavaan kovaan harjoitukseen;
- Antavat neurolihasjärjestelmän adaptaatioita;
- Vaikuttaa loukkaantumisriskiin harjoituksen aikana ja sen jälkeen.

Esimerkiksi ylämäkijuoksuharjoittelun on todettu vähentävän hamstring-lihasten kuormitusta supramaksimaalisessa työssä ja siten pienentävän riskiä loukkaantumiselle suuren intensiteetin tai voluumin harjoittelussa (Buchheit & Laursen, 2013*b*). Toisaalta, vaikka alamäkijuoksu hyvin eksentrisenä harjoituksena rikkoo mekaanisesti lihasta, sillä voi olla pidemmän päälle suojaava vaikutus vastaavanlaisiin harjoituksiin.

Lyhyissä ja suurtehoisissa vedoissa neurolihasjärjestelmän kuormitus on luonnollisesti suurempi ja voimantuotto lihassolua kohden suurempi. Lisäksi lyhyillä vedoilla tulee enemmän jarrutuksia ja kiihdytyksiä, jotka kasvattavat neurolihasjärjestelmän kuormitusta. Kaikki lihakset ovat yleensä käytössä jo ~75 – 85 % VO_{2max} intensiteetillä. Niinpä esimerkiksi iso keho ja huono tekniikka voikin aiheuttaa kasvavan loukkaantumisriskin suurempitehoisissa intervalleissa. Erityisesti SIT-harjoittelussa neurolihasjärjestelmän kuormitus on suurta; niissä tapahtuukin jopa 20 % suorituskyvyn laskua yhden harjoituksen aikana. (Buchheit & Laursen, 2013*b*).

Neurolihasjärjestelmän kuormituksessa tulee puheeksi myös niin sanottu PAP-ilmiö (post activation potentiation): Tottunut juoksija saa harjoituksen jälkeen usein paremman vertikaalihyppytuloksen kuin ennen harjoitusta; lihakset ovat positiivisella tavalla latautuneet ja vastavaikuttajalihakset vastustavat liikettä vähemmän. Eräs mielipide on, että noin 100 % VO_{2max} juoksuintensiteetillä neurolihasjärjestelmän kuormitus olisi optimaalisin, liian alhainen (<80 % vVO_{2max}) ei vielä juuri haastaisi juoksijan neurolihasjärjestelmää ja liian korkea (> 120 % vVO_{2max}) aiheuttaa jo liiallista neurolihasjärjestelmän väsymistä, kun taas näiden välillä neurolihasjärjestelmä saa positiivisen kuormituksen (Buchheit & Laursen, 2013*b*).

Muuta

Yleisesti ajatellaan, että HIT kasvattaa juuri maksimaalista hapenottokykyä. Mitä se tekeekin, mutta selkeästi vain harjoittelemattomille (Laursen & Jenkins, 2002*a*). HIT-harjoittelu

parantaa yleisiä kestävyyssuorituskapasiteettiin liittyviä asioita: ionitasapainoon liittyvien protoneiden toimintaa ja määrää, metabolisia väyliä (lihasten glykogeenivarastot kasvavat ja rasva-aineenvaihdunta paranee), entsyymiaktiivisuus kasvaa, hermolihasjärjestelmän neuraalinen puoli tehostuu ja hengityslihasten taloudellisuutta. Näiden fysiologisten ominaisuuksien lisäksi HIT parantaa myös psykologista puolta: mielialaa, motivaatiota ja kivunsietoa. (Gibala, 2015).

Kirjallisuudesta saa osittaista tukea sille, että suuressa kuvassa työintervallin pituus ja teho on tärkeämpi kuin palautusintervallien pituus (Tschakert & Hofmann, 2013). Katso myös tämän raportin luku 9. Myös sarjojen pituus saattaa olla yllättävänkin toisarvoista etenkin aloittelevilla. Neljän sarjan tekeminen (4 x 4 min) antoi samat tulosparannukset tarkasteltaviin markkereihin kuin yhden sarjan (1 x 4min) harjoitussessiot kolmesti viikossa tehtynä, vaikka intensiteetti harjoituksissa oli sama 90 % HR_{max} (Tjønna *et al.*, 2013). Se, että aloittelijoilla 12 viikkominuutin HIT-harjoittelu voi tuoda saman hyödyn kuin 48 viikkominuutin HIT-harjoittelu tarkoittaa, että aloittelijat voivat perustellusti aloittaa HIT-harjoittelun hyvinkin pienillä määrillä. Tämä taas mahdollistaa aloittelijoille paremman palautumisen ja mahdollisuuden keskittyä ns. peruskunnon luomiseen (mitä se sitten tarkoittaakaan), lajitekniikan hallitsemiseen, lihaskunnon vahvistamiseen, jne. Lisäksi intervalliharjoittelun aloittaminen pienellä määrällä jättää tulevaisuuteen mahdollisuuden lisätä toistoja uutena vaihteluna.

Kuten mainittiin myös Luvussa 3, yllättäen HIT-harjoittelu saattaa vaikuttaa positiivisesti myös aerobiseen kynnykseen (Daussin *et al.*, 2007; Turnes *et al.*, 2016), minkä voidaan ajatella johtuvan mm. lepojaksojen, lämmittelyn ja loppujäähdyttelyn viettämisen LIT-alueella sekä kasvaneesta maksimitasosta, joka perässään nostaisi myös aerobista kynnystä.

Esimerkiksi 12 viikon yleinen kestävyysharjoittelu sisältäen MIT/HIT-harjoittelua vähensi tarvetta hiilihydraatille 2 tunnin suorituksessa 60 % VO_{2max} intensiteetillä (Coggan *et al.*, 1990; Mendenhall *et al.*, 1994). Myös hormonitasot nousivat tällaisen harjoittelun seurauksena vähemmän (Mendenhall *et al.*, 1994). Samanlaista on näytetty toteen myös 4 viikon MIT/LIT (60 % VO_{2max}) harjoittelulla (Phillips *et al.*, 1996). Toisin sanottuna, keho ei kokenut 2 h harjoitusta enää niin rasittavana tai yllättävänä, joka näkyi hormonitasojen tasaisuutena. Tämä on oletuksenakin, koska näissä tutkimuksissa poljettava intensiteetti oli sama ennen ja jälkeen harjoittelun, jolloin se intervention jälkeen kunnon noustessa on suhteessa helpompi. MIT/LIT-harjoittelulla voitiin 4 viikossa vaikuttaa myös VO_2-kinetiikkaan.

HIT-harjoittelun antamaa kehitystä

Vapaa-ajan liikkujille tehty meta-analyysi (Bacon *et al.*, 2013) paljasti, että 6 – 13 viikon HIT-jakso nosti VO_{2max} arvoa keskimäärin 0.5 l/min. Edelleen, tuloksista kävi ilmi kerrannaisvaikutus: tutkimukset, joissa intervalleja oli vähemmän ja harjoituskertoja viikossa vähemmän, myös VO_{2max} nousi vähiten. Mielenkiintoinen on myös kooste (Jameson & Vickers, 2010), jossa on vedettyäyhteen havainnollisella tavalla harjoitustaustan, harjoittelutiheyden, harjoitteluintensiteetin, harjoittelun määrän ja harjoittelujakson keston vaikutuksen kestävyyskunnon (VO_{2max}) nousuun kaikkiaan 294 tutkimuksesta. Kuvasta 6a) nähtiin kuinka intensiteetti määrää hyvin pitkälti vaikutuksen kestävyyteen, eli suuressa mittakaavassa HIT-harjoittelu näyttäisi olevan selkeästi tehokkain tapa nostaa kestävyyskuntoa.

Etenkin lyhyellä aikavälillä HIT harjoittelu onkin todella tehokasta. Erittäin haastavalla harjoitusprotokollalla, sisältäen kuusi HIT-harjoitusta viikossa (kolme juosten, kolme pyörällä), voidaan 10 - 12 viikossa nostaa VO_{2max} arvoa 19 % (47 → 56 ml/kg/min) (Coggan *et al.*, 1990) tai

jopa 44 %: (37 → 55 ml/kg/min) (Hickson *et al.*, 1977). Voidaankin sanoa, että tällaisen pelkän HIT-harjoittelun tekeminen nostanee kuntoa, mutta on erittäin raskas tekijälleen; tutkimuksen (Hickson *et al.*, 1977) osallistujat eivät halunneet enää jatkaa kauemmin, koska harjoittelu tuntui yksinkertaisesti liian rasittavalta. Osa olisi halunnut lopettaa jo aiemmin, mutta jatkoivat luvatut 10 viikkoa velvollisuudentunnosta. Niinpä haastavan HIT-harjoittelun suuri käyttö ei sovellu pitkäaikaiseen ohjelmointiin.

Tarkkaan ottaen, yksistään HIT ei kuitenkaan kasvata kuntotasoa. Olennaista on yhtälö (Stulberg & Magness, 2017)

Rasitus + Lepo = Kunnonkasvu.

Tätä tukee esimerkiksi tutkimus, jossa toinen ryhmä teki ennalta määrättyä harjoitusohjelmaa, ja toinen teki HIT-harjoitukset vain, jos sykevälivaihtelun mukaan keho oli palautunut (Vesterinen *et al.*, 2016). Sykevälivaihteluryhmä teki keskimäärin vähemmän harjoittelua viikossa, mutta heidän kehityksensä oli silti parempaa. Eli tason nostoon ei olennaista ole ainoastaan se kuinka monta HIT-harjoitusta saa kuukauteen mahtumaan, vaan myös näiden kovien harjoitusten laatu ja kuinka hyvin niistä annetaan kehon palautua. Vastaavanlainen tutkimus samankaltaisilla loppupäätelmillä on tehty myös blokkiperiodisoinnilla (Nuuttila *et al.*, 2017). Toisenlaisessa tutkimuksenasettelussa erittäin kovakuntoiset (VO_{2max} = 72 ml/kg/min) urheilijat laitettiin tekemään 4 viikkoa maltillisen kovaa harjoittelua (1 HIT + 1 OBLA + 4 LIT/MIT). Tämän jälkeen seuraavalle neljälle viikolle harjoittelun intensiteettiä nostettiin huomattavasti (3 HIT + 1 OBLA + 2 LIT/MIT). Kävi niin, että ensimmäisen neljän viikon jälkeen kestävyyssuorituskyky nousi hieman, mutta toisen neljän viikon blokin jälkeen ei tapahtunut mitään muutosta. Toisin sanottuna, lisänä annetut HIT-harjoitukset eivät tuoneet enää ylimääräistä harjoitusohjelmaan. Voidaankin siis sanoa, että HIT-harjoittelun kanssa enemmän ei ole aina paremmin, vaan myös matalaintensiteettistä harjoittelua ja lepoa tulee osata arvostaa.

HIT-harjoittelu vähentää väsymystä (Coggan *et al.*, 1990): 2 tunnin polkeminen samalla absoluuttisella kuormalla aiheutti 0,08l/min pienemmän hapenkulutuksen viimeisen 30 minuutin aikana. Toisin sanoen, harjoittelujakson jälkeen päävaikuttajalihakset eivät pitkässä matalaintensiteettisessä harjoituksessa väsynyt niin suuresti, eikä elimistön tarvinnut turvautua rekrytoimaan uusia lihaksia päävaikuttajalihasten lisäksi niin paljon. Tämä näkyy pienempänä energiankulutuksena rasituksen loppuvaiheessa.

HIT-harjoittelun on raportoitu kasvattaman kaikkia kestävyyssuorituskykyyn olennaisesti liittyviä konsepteja: taloudellisuutta, anaerobista kynnystä ja VO_{2max}-arvoa (Helgerud *et al.*, 2001). Vielä 2000-luvun alussa HITin ajateltiin auttavan enemmänkin anaerobisen glykolyysin kapasiteetin kautta ja vähemmän mitokondriossa tapahtuvan aerobisen energiantuoton tehostamisen kautta (Kubukeli *et al.*, 2002), mutta nykyään HIT-harjoittelun on raportoitu auttavan monien eri systeemien kautta, kuten seuraavan luvun listasta käy ilmi.

Jotta harjoittelun kehitys jatkuisi tarvitaan progressiota. Tyypillisesti HIT-harjoittelussa nostetaan joko toistojen määrää tai intensiteettiä. Erään melontatutkimuksen mukaan, suuressa kuvassa ei olisi olennaista kasvattaako intensiteettiä vai toistoja (Sheykhlouvand *et al.*, 2016).

HIT-harjoittelun fysiologiset vasteet

HIT-harjoittelun (ei SIT) on nähty kirjallisuudessa vaikuttavan seuraavasti.

Suorituskyvyn parannuksia:

- VO_{2max} parani (käytännössä kaikissa HIT-harjoittelututkimuksissa)
- Juoksun taloudellisuus parani (Tjønna *et al.*, 2013; Pugliese *et al.*, 2018), myös hyville juoksijoille (Denadai *et al.*, 2006).
- Parantaa TTE@VO_{2max} (Esfarjani & Laursen, 2007; Fereshtian *et al.*, 2017) ja $TTE_{\sim 30sek}$ (huonommin kuin SIT) (Sökmen *et al.*, 2018), $TTE_{\sim 3\text{-}4min}$ (Mohr *et al.*, 2007; Williams *et al.*, 2013).
- Raju HIT-harjoittelu vähensi väsymistä 2 h kuormituksessa (hapenkulutus laski) (Coggan *et al.*, 1990)
- AerK parani (Williams *et al.*, 2013; Turnes *et al.*, 2016), myös hyville (Laursen *et al.*, 2002, 2005; Inoue *et al.*, 2016)
- AnK parani, myös hyvin harjoitelleilla (Londeree, 1997; Westgarth-Taylor *et al.*, 1997; Laursen *et al.*, 2002; Denadai *et al.*, 2006; Enoksen *et al.*, 2011*a*; Inoue *et al.*, 2016; Sheykhlouvand *et al.*, 2016; Turnes *et al.*, 2016; Paquette *et al.*, 2017).
- 50 m sprinttiaika parani (huonommin kuin SIT-harjoittelussa) (Sökmen *et al.*, 2018).
- Aika-ajotulokset parani pyöräilyssä TT_{30min} (Mayes *et al.*, 1987), TT_{750kJ} (Little *et al.*, 2010), TT_{50kJ} (Little *et al.*, 2010) ja juoksussa TT_{3km} (Esfarjani & Laursen, 2007) ja TT_{5km} (Pugliese *et al.*, 2018).
- Wingate-testin tulokset paranivat (Fereshtian *et al.*, 2017; Paquette *et al.*, 2017).
- Parantaa TTE @ 65 - 80 % PPO (Mayes *et al.*, 1987; Tong *et al.*, 2011; Eigendorf *et al.*, 2018).

Perifeerisiä parannuksia:

- PGC1-α esiintyvyys parani (Little *et al.*, 2010)
- SIRT1 esiintyvyys parani (Little *et al.*, 2010)
- Paransi mitokondrion kapasiteettia (CS, proteiinien määrää, jne.) (Little *et al.*, 2010).
- Parantaa glykogeenin määrää lihaksessa (Little *et al.*, 2010).
- Verenvirtaus lihaksessa kasvoi (Krustrup *et al.*, 2004)
- a-vO_2-ero kasvoi (Krustrup *et al.*, 2004).

Sentraalisia parannuksia:

- Paransi iskutilavuutta (Helgerud *et al.*, 2007*a*) ja iskutilavuutta sekä sydämen lihasmassaa (pitkä-HIT>lyhyt-HIT, MIT) (Matsuo *et al.*, 2014).
- Minuuttitilavuus parani (Helgerud *et al.*, 2007*a*).
- Paransi bufferointikykyä (βm) (Edge *et al.*, 2006), myös hyvin harjoitelleilla (Weston *et al.*, 1997)
- Verenmäärä kasvoi (Helgerud *et al.*, 2007*a*)
- Yhdistetty MIT/HIT -harjoittelu paransi rasvankäyttöä 2h kuormituksessa ja madalsi hormonivastetta (Mendenhall *et al.*, 1994). Raju HIT-harjoittelu paransi rasvankäyttöä 2 h kuormituksessa (Coggan *et al.*, 1990).
- Sokerirasitus parani (Nybo *et al.*, 2010)
- Verenpaine aleni (Tjønna *et al.*, 2013).
- kolesteroliarvot paranivat (O'Donovan, 2005; Tjønna *et al.*, 2013).

- VO_2-kinetiikka parani (Overend *et al.*, 1992; Williams *et al.*, 2013).
- Lyhyt-HIT parantaa Na-K -pumpun toimintaa (Mohr *et al.*, 2007)
- Lyhyt-HIT parantaa Na/H -pumpun toimintaa (Mohr *et al.*, 2007)
- Lyhyt-HIT parantaa MCT1 toimintaa (Mohr *et al.*, 2007).
- HIT-harjoittelu auttoi verisuonien joustavuuteen (paremmin kuin MIT-harjoittelu) (Ramos *et al.*, 2015).

Ei parantanut seuraavia:

- AnK ei parantunut (VO_{2max} 48 ml/kg/min) (Carter *et al.*, 1999), myös esim. (Pugliese *et al.*, 2018)
- VO_{2max} ei parantunut (VO_{2max} 50 ml/kg/min)
- Ei parantanut immunivastetta (Khammassi *et al.*, 2018)
- Ei parantanut pyöräilyn taloudellisuutta (Overend *et al.*, 1992; Paquette *et al.*, 2017) eikä juoksun taloudellisuutta erittäin hyville (Enoksen *et al.*, 2011*a*)

Mikroshokkiharjoittelussa tehdään paljon HIT-harjoittelua lyhyessä ajassa, jota seuraavan riittävän pitkän levon jälkeen keho palautuu alkuperäistä paremmalle tasolle. Esimerkiksi (Halson *et al.*, 2002) katsoivat mitä kahden viikon jokapäiväinen HIT-harjoittelu tekee keholle. Tällöin, vaikka aika-ajon suorituskyky, VO_{2max}, mieliala ja maksimisyke laskivat, niin energia-aineenvaihdunnan, laktaattiin ja adrelaniinin tasoihin mikroshokki ei vaikuttanut. Lisäksi 2 viikon levoin jälkeen suorituskyky oli parannut tai jopa superkompensoitunut.

Paras HIT-tapa

HIT-harjoittelua voi tehdä mitä erinäisin tavoin, yleinen luokittelu lienee aiemmin tässä luvussa esitelty jaottelu lyhyt-HIT/pitkä-HIT/SIT/RST, ja jokaisessa luokassa oleva HIT saattaa parantaa laajalla skaalalla suorituskykyä, vaikka adaptaatioreitit olisivatkin erilaiset.

Esimerkiksi tutkimuksessa (Eigendorf *et al.*, 2018) osoitettiin miten RST harjoittelu 90 x 6 s @ 250 %PPO / 24 sek tuotti hyviä tuloksia suorituskykyyn: kynnystesti P_{max} kasvoi ja aika uupumiseen submaksimaalisilla kuormilla. Monia erilaisia intervalleja vertaillut (Stepto *et al.*, 1999) taas päätyi tulokseen, että 40 km aika-ajon parannukseen paras intervalli olisi joko lyhyt-HIT 12 x 30 s (@175 % PPO) tai pitkä-HIT 8 x 4 minuutin (@85 % PPO) intervallit. Ja pitkiä-HIT -protokollia vertailtaessa 8 minuutin intervallit ovat näyttäytyneet parempina kuin 4 tai 16 minuutin (Seiler *et al.*, 2013). Edelleen, lyhyen- ja pitkän-HIT-harjoittelun välimaastossa sijaitsevan 8 – 8 – 12 x 60 s @ 100 %PPO /75 sek HIT-harjoittelun on osoitettu parantavan niin 2 min kuin 1h aika-ajon suoritusta (Little *et al.*, 2010).

Kun on verrattu lyhyttä- ja pitkää-HIT -harjoiteluprotokollia toisiinsa, on löytynyt tutkimuksia, joissa lyhyt on ollut parempi (Stepto *et al.*, 1999; Denadai *et al.*, 2006); joissa pitkä ollut parempi (Stepto *et al.*, 1999; Sandbakk *et al.*, 2013; Seiler *et al.*, 2013) ja joissa molemmat ovat olleet yhtä hyviä (Stepto *et al.*, 1999; Esfarjani & Laursen, 2007; Turnes *et al.*, 2016; Paquette *et al.*, 2017). Voikin olla, että kaikilla intensiteeteillä (80 – 120 % VO_{2max}) tulokset kehittyvät, ja onkin enemmän yksilöllisestä mikä intensiteetti ja protokolla on juuri sillä hetkellä harjoittelijalle paras tapa. Tähän parhaimpaan tapaan voivat vaikuttaa mm. harjoitteluhistoria (jos alla on paljon pitkiä HIT-harjoitteluja, voi lyhyt toimia välillä paremmin), mieltymykset (jos pitää pitkää HIT-intervallia rankkana, sitä ei mielellään tee niin loppuun asti), tekniikka (jos juoksussa on hyvin

päkiäaskellus, sitä voi olla vaikeaa ylläpitää pitkän-HIT-session ajan koko ajan puhtaana), ominaisuudet (onko esim. ”nopea” vai ”hidas” juoksija), ja ylipäätään geneettinen tausta.

HIT tavallisille ihmisille

Laajan meta-analyysin puitteissa < 4min pituiset HIT-interventiot tehoavat parhaiten > 12 viikkoa, 3 kertaa viikossa suoritettuina. Tällöin vaikutukset ovat selvempiä erityisesti ylipainoisille (Batacan *et al.*, 2017): verenpaine, vyötärön ympärys ja rasvaprosentti laskevat kun taas VO_{2max} nousee. Pitkäaikaisellakaan HIT-harjoittelulla ei näyttäisi olevan selkeää hyötyä insuliinin, IL-6 tai rasvaprofiiliin. Normaalipainoisilla ainoastaan VO_{2max} näyttäisi muuttuvan edellä mainituista markkereista (jos asia ei ole vinksallaan, ei sitä voi myöskään korjata..).

Edelleen, meta-analyysin perusteella, myös vedessä tehty HIT-harjoittelu auttaa maksimaaliseen hapenottokykyyn, sekä mahdollisesti alaraajan voimantuottokykyyn ja rasvaprosenttiin (Depiazzi *et al.*, 2019).

Erityisesti ylipainoisia katsottaessa paino laskee usein paremmin LIT/MIT-harjoittelun seurauksena paremmin kuin HIT-harjoittelulla (Andreato, 2019) vaikkei eroja ryhmillä aina ole (Wewege *et al.*, 2017). Tosin, pelkkää liikuntaa lisäämällä painon lasku on tyypillisesti hyvin maltillista, keskimääräisesti luokkaa 0 – 2 kg hyvin suurella hajonnalla. Toisessa katsauksessa HIT-harjoittelun vaikutusta rasva- ja viskeraalisen rasvan määrään oli arvioitu ja huomattu, että rasvan määrä vähenee kuitenkin mitattavasti, ja lisäksi juoksulla paremmin pyöräilyllä (Maillard *et al.*, 2018). Tämä tutkimus on tosin saanut kritiikkiä siitä, että siinä on otettu liiankin isolla lusikalla tutkimuksia mukaan meta-analyysiin (Andreato, 2018; Li *et al.*, 2018).

HIT hyvin harjoitelleilla

Yleisesti näyttäisi, että myös hyvin harjoitelleilla HIT-harjoittelun seurauksena aika-ajosuoritus, taloudellisuus, anaerobinen kynnys ja porrastestin maksimi-intensiteetti nousevat, sen sijaan VO_{2max} parannuksia harvemmin näkee (Westgarth-Taylor *et al.*, 1997; Weston *et al.*, 1997; Laursen & Jenkins, 2002*a*). Suorituksen parantumiset on arveltu johtuvan bufferointikapasiteetin kasvusta, neurolihasjärjestelmän paremmasta toiminnasta ja tehostuneesta rekrytoinnista (Westgarth-Taylor *et al.*, 1997; Weston *et al.*, 1997; Laursen & Jenkins, 2002*a*). Erityisesti bufferointikyvyn on osoitettu korreloivan 40 km aika-ajon parannuksen kanssa (Weston *et al.*, 1997). Niinpä siis hyvin harjoitelluilla bufferointikyvyn parantaminen voi olla nopein tapa ennen pääkilpailua nostaa tulostasoa. Lisäksi syitä parempiin suorituksiin on esitetty olevan parempi lämpökuorman sieto ja aerobiseen energiantuottoon nojautuminen suuremmilla intensiteeteillä. Myös viitteitä erilaisten solupumppujen aktiivisuuden parantumisista on havaittu (Laursen & Jenkins, 2002*a*; Laursen *et al.*, 2005). Sen sijaan iskutilavuuden ja plasmanmäärän lisääntymisestä hyvin harjoitelleille ei ole merkkejä. (Laursen & Jenkins, 2002*a*; Laursen *et al.*, 2005). Todennäköisesti periferiset syyt kasvattavat tuloksia hyvin harjoitelleilla (Laursen *et al.*, 2005). Tarkkaa syytä HIT-harjoittelun toimintatavasta on vaikea sanoa. (Kubukeli *et al.*, 2002). Arvatenkin toimintamalli johtuu myös paljolti yksittäisen urheilijan heikkouksista.

Eräs selkeä erinomaisia ja hyviä urheilijoita jaottava tekijä on anaerobinen kynnysintensiteetti. Hyvin harjoitelleilla HIT-harjoittelu on parantanut anaerobista kynnystehoa niin absoluuttisesti kuin myös suhteellisesti (Kubukeli *et al.*, 2002). Hyvin harjoitelleilla keskimääräinen

syke aika-ajossa saattaa nousta HIT-harjoittelujakson seurauksena (Laursen *et al.*, 2005), ollen hyvänä esimerkkinä miten kynnysten nouseminen käytännössä saattaa näkyä. Parasta HIT-harjoitusmuotoa anaerobisen kynnyksen parantamiseen ei voida antaa; niin maksimimaalinen (100 % PPO[6]) kuin supramaksimaalinen (175 % PPO) ovat parantaneet kynnystehoja (Laursen *et al.*, 2005). Yllättäen jopa 2 viikon harjoittelu (20 x 1'@PPO) voi auttaa sekä AerK, että AnK kynnystehoihin (Laursen *et al.*, 2002). (Tässä oli korkea intensiteetti ja lyhyehkö palautus, jolloin lopputuloksena saatiin suurempi suurenergisen fosfaatin kontribuutio ja täten parempi vaste).

HIT-harjoittelun merkitys aerobisen ja anaerobisen kynnyksen suhteelliseen määrään nähdään esimerkiksi artikkelista (Cipryan *et al.*, 2017), missä verrattiin hyvin harjoitelleita kestävyysurheilijoita (VO_{2max} = 66 ml/kg/min) ja hyvin harjoitelleita sprinttereitä: Aerobinen kynnys oli noin 68 % VO_{2max} ja anaerobinen kynnys 86 % VO_{2max} *molemmilla ryhmillä.* Koska sprinttereiden harjoittelussa ei LIT-harjoittelu liene kovin oleellinen, voidaan johtopäätöksenä antaa hypoteesi, että HIT/SIT/RST/nopeus- harjoittelu vaikuttaa positiivisella tavalla kynnysten suhteellisiin osuuksiin maksimaalisesta hapenotosta ja sen seurauksena myös sprinttereillä kynnykset ovat suhteessa korkealla tasolla.

On tutkittu, että 100 % VO_{2max} intensiteetillä kestää noin 60 % T_{max}[7] ennen kuin yksilö ehtii tavoittamaan VO_{2max} lukemansa (Hill & Rowell, 1997). Tätä on sitten käytetty perusteluna sille, että optimaalisin aika VO_{2max} vauhtisille intervalleille olisi yksilöllinen 60 % T_{max} (Laursen & Jenkins, 2002*a*). Tällä tavoin harjoiteltuna on tuloskunto noussut merkitsevästi 4 viikossa (Laursen *et al.*, 2005). Tosin tässäkin kannattaa huomioida yksilöllinen vaihtelu, toisilla kun T_{max} saattaa olla jopa 11 min, ja toisilla taas alle 2 min (Billat *et al.*, 1994). Tämä kaikki voisi kuitenkin tarkoittaa, että yksilöllinen harjoittelu voisi olla tarkoituksenmukaisempaa kuin samanlaisten harjoitusten määrääminen jokaiselle. Oletetaan, että tarkoitus olisi kehittää vVO_{2max} nopeutta juoksijoilla, ja määrätään 5 x 1000m intervalleja lähellä vVO_{2max} nopeutta. Tällöin yksilö, joka jaksaa ylläpitää vVO_{2max} vauhtia vain 2 minuuttia joutuu tällaisilla intervalleilla työskentelemään huomattavasti kohdeintensiteettiä matalammalla intensiteetillä. Sen sijaan, että kaikille juoksijoille laitettaisiin 5 x 1000m, voisikin ottaa huomioon heidän kapasiteettinsä ylläpitää maksimikestävyysvauhtia, ja jakaa esimerkiksi intervallien pituudet sen mukaan.

Erilaisissa tutkimuksissa HIT-harjoittelu on auttanut hyvin harjoitelleita (kriteerinä se, että tutkittavien VO_{2max} on ollut aloittaessa vähintään 60 ml/kg/min miehillä ja naisilla 10 % matalampi):

- Juoksu: 4 x $t_{lmi95\%}$@ 95 % vVO_{2max}, TT_{5km} (Denadai *et al.*, 2006)
- Juoksu: 5 x $t_{lmi100\%}$@ 100 % vVO_{2max}, TT_{5km} $TT_{1,5km}$, vVO_{2max} (Denadai *et al.*, 2006)
- Pyörä: 7 – 10 x 4 – 6min, PPO, AnK, AerK (Inoue *et al.*, 2016)
- Pyörä, 3vko 8 x 4' @ 85 % PPO, TT_{40km}, PPO (Stepto *et al.*, 1999)
- Pyörä, 2vko 20 x 1' @ PPO, PPO (Laursen *et al.*, 2002)
- Juoksu, 8vko, Vauhtileikittely (5km – 10km kisavauhti) + 1 HIT 90 – 95 % HR_{max}, TT_{10km}, $TTE_{\sim 20sek}$ (Acevedo & Goldfarb, 1989)
- Pyörä, 4vko, 8 x 60 % T_{max} @ PPO / 1:2 ja HR = 60 % HR_{max}, TT_{40km}, VO_{2max}, AerK, AnK (Laursen *et al.*, 2005)

[6] PPO = Peak Power Output, pyöräilyn kynnystestin se teho, joka antaa VO_{2max} lukeman. Juoksussa samaa intensiteettiä kutsutaan vVO_{2max}.

[7] T_{max} = uupumiseen kuluva aika 100 % VO_{2max} -intensiteetillä.

- Pyörä, 4 vko, 12 x 30s @175 % PPO /4,5min, TT_{40km}, VO_{2max}, AerK, AnK (Laursen *et al.*, 2005)
- Pyörä, 6 vko, 6 – 9 x 5' @ 80 % PPO /1' (hieman yli AnK), TT_{40km}, PPO, AnK (Westgarth-Taylor *et al.*, 1997)
- Pyörä, 10vko, 3 x (13 x 30s) /15s/3 min Max. keskiteho, VO_{2max}, Wingate, $TT_{5'}$, $TT_{40'}$ (Rønnestad *et al.*, 2015)
- Pyörä, 4 vko, 6 x 5 min @ AnK, 60 rpm kadenssilla /5 min, TT_{20min}, PPO, AnK (Nimmerichter *et al.*, 2012)

Aina HIT-harjoittelut eivät kuitenkaan ole antaneet parempaa suorituskykyä hyvin harjoitelleille. Seuraavassa esimerkkejä näistä:

- Juoksu, 3 vko : 4 x 4min/4' (Salazar-martínez *et al.*, 2018).
- Uinti, 12 vko: 6 – 10 x 10 – 30s @ Max /2 – 4' (Kilen *et al.*, 2014)
- Pyörä, 10 vko: 4 x 5 min /2,5 min suurin mahdollinen keskiteho (hieman parannusta TT_{40min}, mutta ei kovin suuria muutoksia) (Rønnestad *et al.*, 2015)
- Pyörä, 4 vko, 6 x 5 min @ AnK, 100 rpm kadenssilla /5 min (Nimmerichter *et al.*, 2012)

Myös SIT-harjoittelu pienestä volyymistaan huolimatta on antanut hyvin harjoitelleille lisää suorituskykyä:

- Pyörä, 6vko, 8 – 12 x 30 sek @ max. / 4min, parantuneet PPO & OBLA (Inoue *et al.*, 2016)
- 1vko (7/vko) 2h, 5,10 & 20 sec max vetoja/1:5, parantuneet TT_{20km}, VO_{2max} (Clark *et al.*, 2014)
- 1vko (7/vko) 2h, 15,30 & 45 sec max vetoja/1:5, paratuneet TT_{20km}, VO_{2max} (Clark *et al.*, 2014).
- Pyörä, 5vko: 3x(20 x loikat + SIT (5 x 30s max/30s))/2', parantuneet TT_{1km}, TT_{4km}, PPO (Paton & Hopkins, 2005)
- Pyörä, 4vko, 12 x 30 sek @ 175 % PPO /4,5 min, parantuneet TT_{40km}, VO_{2max}, Anaerobinen kapasiteetti (Laursen *et al.*, 2005)
- Pyörä, 3vko 12 x 30s @ 175 % PPO, parantuneet TT_{40km}, 40s sprint (Stepto *et al.*, 1999).
- Juoksu, 6-9 vko, 6 – 12 x 30s @ 95 % Max. vauhti /3min, parantuneet TT_{10km}, TT_{3km}, TT_{30sek} (Bangsbo *et al.*, 2009).

Hypoteesina voitaisiin sanoa, että HIT/SIT ei auta ainakaan siinä tapauksessa, jos harjoittelu on muutenkin pitänyt sisällään samankaltaisia harjoitteita, kuten juoksun 4 min (~1km) maksimaalisen hapenottokyvyn vetoja (Salazar-martínez *et al.*, 2018) tai uinnin 10 – 30s (25 – 50m) maksimivetoja (Kilen *et al.*, 2014), jotka ovat juoksijoille ja uimareille hyvin tyypillisiä vetoharjoittelun muotoja.

Lisäksi SIT-harjoittelun auttaminen suorituskykyyn voidaan ajatella johtuvan sen uudesta ärsykevaihtelusta. Monille kestävyysurheilijoille SIT-tyyppinen harjoittelu saattaa olla vieraampaa, eikä sen matalavolyymista harjoitusmuotoa välttämättä uskalleta kokeilla. Tutkimukset kuitenkin näyttäisivät, että sillekin kannattaa antaa mahdollisuus kestävyysurheilussakin, eikä pelkästään nopeuskestävyyslajeissa. Toinen syy SIT-harjoittelun apuun on sen vaikutus bufferointikykyyn. Hyvin harjoitelleilla ei bufferointi välttämättä ole sen korkeampi kuin harjaantumattomilla, ja SIT-

harjoittelu on eräs keino nostaa bufferointikykyä (Sharp *et al.*, 1986), joka taas voi olla yhteydessä esimerkiksi pyöräilyn 40 km aika-ajon suorituskykyyn (Weston *et al.*, 1997).

HIT harjoittelun toimintatapa

HIT-vedoissa laktaatti- ja pH-tasot nousevat, minkä ajatellaan estävän anaerobisen energiantuotannon glykolyysin kautta. Niinpä myöhemmissä vedoissa suurempi osa energiasta tuotetaan aerobisesti, vaikka intervalli itsessään onkin edelleen anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Tämän ajatellaan olevan syy siihen, että esimerkiksi 4 x 4 min vedot kehittävät maksimaalista hapenottokykyä (Tschakert & Hofmann, 2013). Edelleen, kun työintervallit jaetaan lepojaksoilla intervalleihin, johtaa se luonnollisesti pidempään kokonaistyöaikaan (vrt. Luvun 2 ”Aika uupumiseen”), mikä taas johtaa useimmiten suurempaan rasvojen hapettumiseen (lähteet [9,12] artikkelissa Tschakert & Hofmann, 2013).

Luvun lopetus

HIT-harjoittelusta voidaan rakentaa todella monipuolisesti minkälaisia tahansa suhteellisen helposti hyvin uuvuttaviin harjoituskokonaisuuksiin. Siksi mitään selkeää HIT-harjoittelun vaikutuksista on vaikea mennä tarkkaan sanomaan.

Palautusajoissa näyttäisi, että lyhyt-HIT vaatisi suurempaa tarkkaavaisuutta palautusaikojen suhteen, jotta työintervalleissa hapenkulutus ja aerobinen kontribuutio ja rasitustasot säilyisivät riittävän korkealla. Pitkä-HIT ei ole niin tarkka palautusjaksojen pituuksista, kuten myöhemmin luvussa 9 tullaan näkemään.

Tämän hetkisen tiedon valossa näyttäisi, että HIT-harjoittelu vaikuttaa niin perifeerisiin kuin sentraalisiin järjestelmiin, ja että se olisi ylivoimainen harjoittelumuoto LIT/MIT-harjoitteluihin verrattuna. Omana arvauksenani on, että HIT-harjoittelua ei ole vain tutkittu riittävän kriittisesti ja esimerkiksi hyvin pitkän ajanjakson seurantatutkimukset puuttuvat lähes kokonaan. Niinpä nykyiset tutkimukset sanovatkin, että HIT-harjoittelu olisi ylivoimainen LIT/MIT-harjoitteluun muutaman kuukauden aikaskaalalla. Sitä ei voida toki kieltää etteikö optimaalinen kestävyyskunnon nostaminen vaadi jonkinlaista HIT-harjoittelun tekemistä.

6. SIT-harjoittelu

SIT-harjoittelun suuret näkemykset ja lyhyttä historiaa

SIT (Speed Interval Training) on intervalliharjoittelumuoto, jossa jokainen työjakso tehdään (lähes) maksimaalisesti ja työjakson pituus on tyypillisesti alle 30 sekuntia. Tutkittuja SIT-harjoitusmuotoja ovat olleet esimerkiksi:

- 3 – 8 x 30 sek @ max /4 min
    - Klassisimmaksi muodostunut 30 sekunnin maksimi-intervalli, joita on tutkittu mm. pyörällä (Burgomaster *et al.*, 2005) ja juosten (Buchheit *et al.*, 2010).
- 2 x 20 sek @ max. / 2 min, pyörällä (Gillen *et al.*, 2014).
- 3 x 20 sek @ max / ~ 2 h, porrasjuoksua (Jenkins *et al.*, 2019)
- 7 - 8 x 20 sek @ 170 % PPO / 10 sek
    - Tabatan lanseeraama klassinen SIT-harjoittelumuoto (Tabata *et al.*, 1996). Artikkelissaan hän antaa kunnian luisteluvalmentajalle Kouichi Irisawalle, jolta hän oli harjoitusmuodon napannut.
- 4 – 6 x 15 sek @ max / 4,5 min, pyörällä (Zelt *et al.*, 2014)
- 4 – 6 x 10 sek @ max / 4 min. (Hazell *et al.*, 2010).

Yleisen koonnin perusteella voitaneen sanoa, että tällainen harjoittelu antaisi periferisiä adaptaatioita, mutta sentraalisista adaptaatioista on epäselvää näyttöä. Toisin sanoen, SIT:in seurauksena lihasten maksimientsyymiaktiivisuus nousee, bufferointikyky paranee, kapillaaritiheys kasvaa, mitokondrioiden määrä lisääntyy, insuliinisensitiivisyys paranee (GLUT4 aktiivisuuden kasvun myötä). Sen sijaan iskutilavuus joissain tutkimuksissa kasvaa ja toisissa pysyy samana. On epäilty, että SIT-harjoittelun suuri kuormitus juuri II-tyypin lihassoluihin aiheuttaisi muutoksia kestävyyssuorituskykyyn, kun harjoittelun seurauksena myös II -tyypin lihaksia on saatu harjoitettua. (Sloth *et al.*, 2013). Lisäksi SIT-harjoittelu on suuren tehon takia hyvä neurolihasjärjestelmän adaptaation kasvattamiseen (Buchheit & Laursen, 2013*a*, 2013*b*)

Koontiartikkelissa Gibala kumppaneineen (Gibala, 2015) vetää yhteen SIT harjoittelun edut ja haitat:

+ Lyhyt aika, hyvä vaste

– Tuntuu rankalta
– Loukkaantumisen riski

Tosin näin kirjoittajan näkökulmasta sanoisin, että on huomioitava, että SIT saattaa tulla myös tiensä päähän hyvin nopeasti; Jos SIT harjoittelu olisi yksinään riittävä kestävyyssuorituskyvyn nostoon, olisivat 200m ja 400 m juoksijat todennäköisesti kaikkein parhaimpia kestävyysjuoksijoita, koska heidän harjoittelunsa koostuu hyvin pitkälti (lähes) maksimaalisista intervalleista. Ja 400 m juoksijoilla vieläpä myös lyhyillä palautuksilla bufferointikyvyn parantamiseksi. Tokikin he ovat valikoituneet lyhyihin matkoihin osin varmasti lihassolusuhteensa ja nopeusominaisuuksiensa takia, mutta siitä huolimatta esimerkiksi

pikamatkojen miesjuoksijoiden maksimaaliseksi hapenottokyvyksi ilmoitetaan noin 55 – 65 ml/kg/min (Draper & Wood, 2005; Cipryan *et al.*, 2017), mikä antanee jonkinlaisen kattoarvion sille potentiaalille, joka pelkällä SIT harjoittelulla on maksimaaliselle hapenottokyvylle.[8]

Koska SIT-harjoittelu vaikuttaa perifeerisesti ja neuraalisesti, ei sen seurauksena maksimaalinen hapenottokyky aina nousekaan, vaikka suorituskyky sinänsä paranisi. Esimerkiksi tutkimuksissa (Burgomaster *et al.*, 2005; Burgomaster, 2006) kahden viikon harjoittelu nosti aktiivisilla miehillä aikaa uupumiseen (80 % VO_{2max}) ja aika-ajosuoritusta (~15 min), muttei varsinaisesti merkitsevästi maksimaalista hapenottokykyä.

Nykyinen SIT-harjoittelun tutkimus alkoi 2000-luvun taitteessa. Tabata julkaisi omat huomionsa 20 sekunnin lähes maksimaalisten intervallien hyvistä ominaisuuksista vuonna 1996 (Tabata *et al.*, 1996, 1997). Maksimaalisten 30 sekunnin intervallien hyödyistä alettiin puhua enemmän Burgomasterin ryhmän tutkimuksien jälkeen 2005 (Burgomaster *et al.*, 2005). Itse SIT-harjoittelun tutkimus ulottuu kuitenkin kauemmas; Jo 1984 on julkaistu artikkeli, jossa 8 x 30 sekunnin maksimisprintit antoivat niin parempia kestävyyssuoritusta kuin anaerobista suoritusta (Katz *et al.*, 1984). Myös hyvin varhain on huomattu SIT-harjoittelun parantavan bufferointikykyä: artikkelissa (Sharp *et al.*, 1986) käytettiin 30s maksimipyöräilyharjoitusta SIT-harjoittelun perustana, ja tuossa tutkimuksessa bufferointikyky parani 8 viikon aikana 35 % kohtuullisesti harjoitelleilla miehillä (VO_{2max} = 53 ml/kg/min). Harjoittelujakson alussa bufferointikyky oli samanlainen kuin hyvin harjoitelleilla (VO_{2max} = 70 ml/kg/min). Toisin sanottuna, lyhyt SIT kuuri nostaisi todennäköisesti myös hyvin harjoitelluilla bufferointikykyä, mikä voisi edelleen auttaa kestävyyssuorituskyvyn nousuun. Muita varhaisia SIT tutkimuksia ovat mm. (Linossier *et al.*, 1993), jossa tehtiin 16 – 26 kappaletta 5 sekunnin täyssprinttiä, joka johti parempaan kestävyyssuorituskykyyn.

Kuinka pitkä intervalli tarvitaan?

Hyvin pienetkin intervallin pituudet on kasvattanut suorituskykyä. Esimerkiksi 10 sek on riittänyt tulosparannukselle kestävyyssuoritukselle (Dawson *et al.*, 1998; Hazell *et al.*, 2010; Sloth *et al.*, 2013). Oletuksena on, että monta toistettua lyhyttä sprinttiä (<10s) kasvattaa neuraalista puolta, mutta myös aerobista energiasysteemiä ja todennäköisesti myös bufferointikykyä (Dawson *et al.*, 1998).

SIT-harjoittelun ominaisuuksiin kuuluu se, että se antaa jo lyhyellä ajanjaksolla mitattavia parannuksia. Niinkin vähän kuin 6 harjoituskertaa 2 viikon aikana on tuonut parannuksia kestävyyssuorituskykyyn (VO_{2max}) niin 30s kuin 10s maksimaalisella intervalleilla (Hazell *et al.*, 2010). Voitaisiinkin arvella, että SIT-harjoittelussa ensimmäiset 10 sekuntia olisivat tärkeät adaptaation antajat (eli vedon huipputehot). Voikin olla, että sekä 30s tehty kokonaistyö, että myös saavutettu huipputeho molemmat ajaisivat kestävyysadaptaatioita. Tavalliselle kuntoilijalle 10 -20 sekunnin vedot ovat ehdottomasti helpompia suorittaa kuin 30 sekunnin, ja siksi ne ovatkin houkuttelevampia. Maksimissaan 20 sekunnin vetojen on todettu parantavan maksimaalista hapenottokykyä ~13 % ja insuliiniherkkyyttä 28 % (Metcalfe *et al.*, 2012), samankaltaisia tuloksia on saatu myös 15 sekunnin vedoilla (Zelt *et al.*, 2014). Aiemmin sedentaareille tutkittaville 20 sekunnin sprintit ovat kehittäneet kestävyyskuntoa, sitraattisyntaasin aktiivisuutta, insuliiniherkkyyttä ja GLUT4-määrää, laskevan veren glukoosimäärää ja laskevan verenpainetta ja

[8] On tosin huomioitava, että sprintterit ovat tyypillisesti vielä 10 kg kestävyysjuoksijoita painavampia, jolloin absoluuttinen maksimihapenkulutus sprinttereillä on jo lähempänä kestävyysjuoksijoiden vastaavaa.

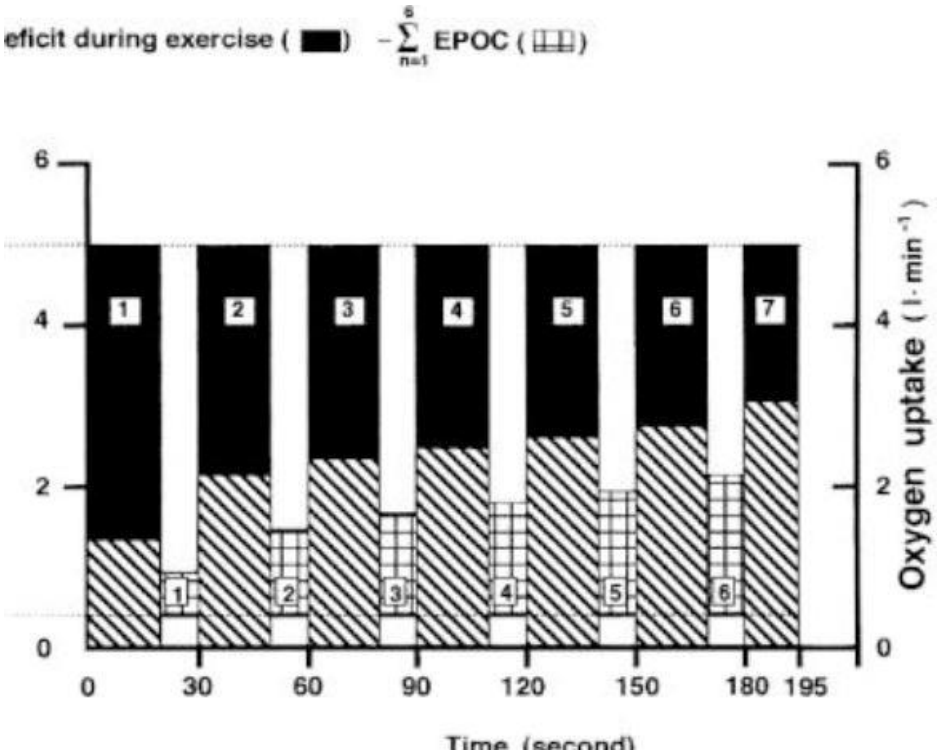
lisäävän cytochrome oxidase 4 proteiinimäärää (Gillen *et al.*, 2014, 2016). Huomioitavaa kuitenkin on, että näitä 20 sekunnin vetoja on saatava harjoituspäivään riittävästi. Esimerkiksi 1 x 20 sekuntia ei ollut riittävä nostamaan tutkittavien (sedentaarien ja aktiivisten) kestävyyssuorituskykyä (Songsorn *et al.*, 2016), mutta 2 sarjaa oli riittävä (Metcalfe *et al.*, 2012). Tuore kokooma-artikkeli antaisikin osviittaa, että kolme toistoa olisi jo riittävä määrä VO_{2max} nostoon, ja tämän yli tulevat lisätoistot eivät toisi lisähyötyjä (Vollaard *et al.*, 2019).

Erilaisia SIT-prototyyppejä tutkittaessa (kaikissa harjoitusmuodoissa yhdessä harjoituksessa yhteensä 2 min aktiivista työtä ja 16 min lepoa), on huomattu, että lyhyt (5 sek) SIT-tyyppi kuluttaa energiaa enemmän kuin pitempi (30 sec) (209 kcal vs. 138 kcal), mutta harjoituksen jälkeen rasvaa kuluu lyhyissä vastaavasti vähemmän (0.07 g/min vs. 0.11 g/min) (Islam *et al.*, 2017). He esittävätkin, että maksimaalisen tehon generointi vedon alussa voisi olla tärkeämpi metabolinen stimulus kuin yrittää ylläpitää mahdollisimman suurta tehoa. Tähän suuntaa antaisi myös viitteitä tutkimus, jossa 30 sekunnin vedot antoivat yhtä hyvän kunnon nousun kuin 15 sekunnin (Zelt *et al.*, 2014) tai 10 sekunnin (Hazell *et al.*, 2010), siitäkin huolimatta, että 30 sekunnin vedoissa tehdään huomattavasti enemmän töitä.

SIT-harjoittelun työ/lepointervallien vaikutus

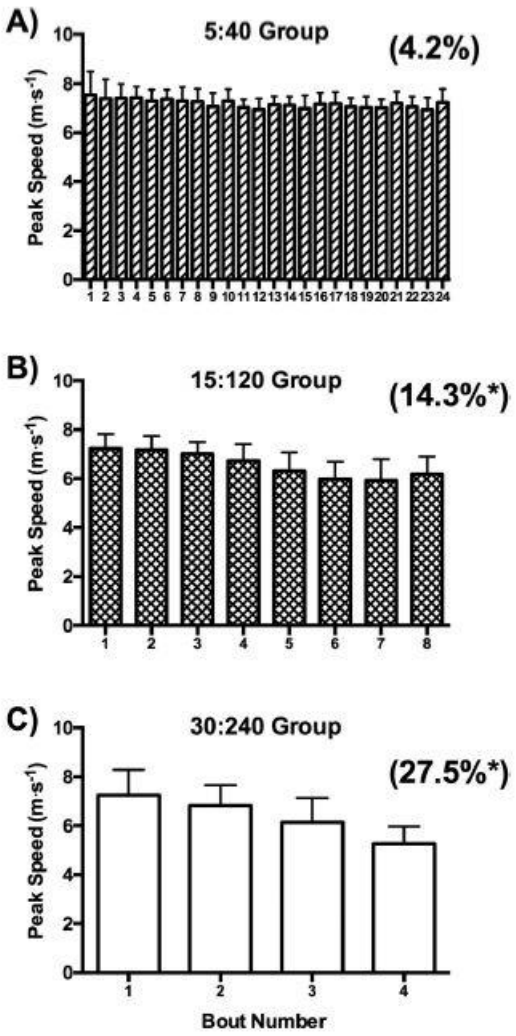
SIT-harjoittelussa ajatellaan, että > 45 sekunnin työjaksossa aerobisen energiantuotannon kontribuutio kasvaa huomattavasti ja näin tulisi itse asiassa kokonaiseen harjoitukseen pienempi happivelka (Buchheit & Laursen, 2013*b*). Edelleen, pitkä palautus (> 2 min) takaa sen, että aerobinen systeemi palautuu lähemmäs lepotilaa, mikä maksimoi seuraavan työintervallin happivelan määrää. Pitkällä palautuksella myös annetaan anaerobisen puolen palautua, jolloin saadaan suurempi teho seuraavaan työintervalliin ja näin kasvatettua esimerkiksi happivelan ja mekaanisen rasituksen määrää. Onkin näyttöä, että lepoajan kasvattaminen 30 sek → 80 sek tai 2 min → 4 min nostaa maksimilaktaatin määrää verestä mitattuna merkitsevästi (Buchheit & Laursen, 2013*b*). Kun kehon happamuus pysyy korkealla, tulevat viimeiset vedot tyypillisesti paljon aerobisemmiksi kuin ensimmäiset. Näin ollen pitkillä palautuksilla ja 4 – 6 toiston sarjoilla voidaan hyvin maksimaalisesti rasittaa kehoa sekä aerobista, että anaerobista reittiä pitkin. (Buchheit & Laursen, 2013*a*). Esimerkiksi tyypillisessä SIT-harjoituksessa, jossa tehdään 4 x 30 sec maksimaalisesti, ensimmäisessä vedossa vain 20 % tuotetaan aerobisesti, mutta viimeisessä jo 80 % (Gibala, 2015). Eli toistomäärien edetessä aerobisesti tuotetun energian määrä kasvaa ja vastaavasti anaerobisen kontribuution määrä pienenee. Se on eräs syy miksi SIT vaikuttaa myös kestävyyssuorituskykyyn. Kuvassa 16 nähdään esimerkkinä Tabata -harjoitusmuodon (7 x 20sek @ 170 % PPO / 10s) hapenoton lisääntyminen viimeisiä vetoja kohti.

SIT-harjoittelussa varsinainen kokonaisaika lähellä VO_{2max}:ia on vähäinen, mutta sitä vastoin lokaali lihasten O_2-tarve on suunnaton, etenkin vetojen määrän kasvaessa (Buchheit & Laursen, 2013*a*). Toisin sanottuna ylläkerrottu happivelan maksimoinen voisi olla perustavanlaatuinen syy SIT-vetojen perifeeristä hapenkulutuskapasiteettia kasvattavaksi vaikutukseksi. Lisäksi SIT vedoissa anaerobisen energian määrä, neurolihasjärjestelmän kuormitus ja luurankolihaksen kokema mekaaninen kuormitus muodostuvat hyvin suureksi. Nämä lueteltiin luvussa 5 HIT-harjoittelun vaikuttaviksi tavoiksi, jonka seurauksena SIT-vedotkin nähdään vähäisestä työskentelyajoista huolimatta olevan suhteellisen vaikuttavia.



Kuva 16. Tabata-harjoituksessa kasvava hapenkulutus (viivoitettu palkki) ensimmäisestä vedosta viimeiseen. Nähdään, että ensimmäinen intervalli on ollut enimmäkseen anaerobinen (musta palkki), kun taas viimeinen on ollut enimmäkseen aerobinen. Kuva: (Tabata *et al.*, 1997).

Seuraavassa kuvassa nähdään kuinka SIT-harjoittelussa työjakson pituus määrää hyvin pitkälti harjoituksen rankkuuden, jos tarkastellaan sitä paljonko suoritustaso laskee harjoituksen aikana. Tutkimuksessa tehtiin 3 erilaista SIT-protokollaa, joissa työjaksot olivat 5 sek, 15 sek ja 30 sek ja työ:lepo -suhde oli 1:8. Nähdään, että 30 sekunnin SIT-harjoituksessa suorituskyky laskee huomattavasti enemmän kuin 5 sek tai 15 sek harjoituksessa.



Kuva. Suorituskyvyn lasku ensimmäisestä viimeiseen toistoon kolmella erilaisella SIT-protokollalla, joissa työjaksojen pituudet ovat 5, 15 ja 30 sekuntia ja työ:lepo -suhde 1:8. Jokaisessa protokollassa kokonaistyöaika on sama 2 min. Nähdään, että mitä pidempi veto sitä suurempi suorituskyvyn lasku. Kuva: (Islam *et al.*, 2017)

SIT-harjoittelua harjoittelemattomille

Yleisenä linjana 20 - 60 sekunnin maksimi-intervallit kasvattavat maksimaalista hapenottokykyä yhtä hyvin kuin pidempiaikainen MIT -harjoittelu kaikilla paitsi urheilijoilla (Burgomaster *et al.*, 2008; Weston *et al.*, 2014).[9] Koska ajan puute mainitaan usein syynä inaktiivisuudelle, tarjoaa SIT keinon aikasäästeliäästi kasvattaa kuntoa. (Lähde [65] artikkelissa Gist *et al.*, 2014). Tällaiset lyhyet 30 sekunnin sprintit kehittävät myös pitkäkestoista kestävyyssuorituskykyä. Tällainen harjoittelu on pidentänyt aktiivisilla ihmisille vain 2 viikon harjoittelun jälkeen aikaa uupumiseen 80 % VO_{2max} intensiteetillä noin 100 % (26 → 51 min) (Burgomaster *et al.*, 2005), noin 15 minuutin aika-ajosuoritusta 10 %:lla (Burgomaster, 2006) ja 1 h aika-ajosuoritusta noin 10 % (Gibala *et al.*, 2006).

[9] Tosin hyvätasoisilla urheilijoilla VO_{2max} on usein jo saavuttanut yksilölle suurimman arvon ja suorituskyky nousee muilla tavoin.

Juosten tehty 200m/200m harjoitus 30 minuutin ajan (13 – 20 toistoa) toimi hyvänä kunnonkohotuskeinona (Sökmen *et al.*, 2018). Myös perinteisempää 4- 7 x 30s /4' on tehty juosten maltillisesti harjoitelleilla miehillä, ja sen on todettu parantavan 3km kestävyyssuorituskykyä (~13 min → ~12:15) samoin kuin heidän 30s viivajuoksutulostaan (Koral *et al.*, 2018) ja myös 2km juoksua (MacPherson *et al.*, 2011).

Lähinnä SIT harjoittelua sisältänyt harjoittelu kohtalaisesti harjoitelleille ihmisille nosti lähinnä sprinttikykyä ja väsymisensietoa, mutta ei merkitsevästi bufferointikykyä ja ainoastaan hyvin minimaalisesti VO_{2max}:ia (Nevill *et al.*, 1989).

Yhdistämällä lyhyttä ja pitkää SIT-harjoittelua (2-7 x 15s + 2-7 x 30s) on VO_{2max} saatu nostettua 7ml kohtalaisesti harjoitelleilla (57ml/kg/min), ja tason nosto oli paljolti periferinen (Rodas *et al.*, 2000).

SIT-harjoittelua hyvin harjoitelleille.

Useimmiten kestävyysurheilijat eivät tee paljoakaan SIT harjoittelun tyyppistä maksimaalista lyhyttä harjoittelua. Usein SIT-harjoittelua voidaan jopa hieman väheksyä muotivirtauksena ja liian hyvien lupauksien antajana. Perusteena käytetään sitä, että koska työjaksot ovat niin lyhyet, niin se ei voi auttaa heitä kilpailullisissa tavoitteissa. Näin ajateltuna menetetään kuitenkin se valtava hyöty, jota SIT-harjoittelu voi tarjota myös hyvin harjoitelleilla. Nimittäin, koska harjoitelleet väheksyvät SIT-harjoittelu muotoa, he eivät ole sitä juurikaan tehneet, jolloin juuri SIT voisi tarjota heille uuden ärsykkeen harjoitteluun. Tällöin muun kestävyysharjoittelun ohella suoritettu SIT harjoittelu on oiva keino tuoda uutta variaatiota hyvinkin harjoitellun kestävyysurheilijan harjoitusohjelmaan.

Hyvin harjoitelluilla SIT-harjoittelu voidaan nähdä parantavan neuraalista adaptaatiota, mikä johtaa parempaan taloudellisuuteen ja myös tätä reittiä parempaan suorituskykyyn (Creer *et al.*, 2004). Taloudellisuuden parantuminen on todettu mm. artikkelissa (Iaia *et al.*, 2008). Myös Na-K-pumpun toiminta on mitattu tehostuneen (Iaia *et al.*, 2008; Bangsbo *et al.*, 2009) ja samaten Na/H -pumpun (Iaia *et al.*, 2008). Hyvin harjoitelleilla harvoin tapahtuu kuitenkaan VO_{2max} arvon kasvua (Iaia & Bangsbo, 2010).

Kirjallisuudessa on esimerkiksi verrattu hyvin harjoitelleilla (~63 ml/kg/min) 30s maksimivetoja ~5 minuutin intervalleihin (Inoue *et al.*, 2016). Lopputuloksena molemmat olivat yhtä hyviä, mutta SIT-harjoittelussa oli pienempi todennäköisyys olla haitallinen.

Erittäin rankka SIT-harjoittelun muoto, jossa yhdessä harjoituksessa on 60 yhden jalan laatikkohyppyä ja 15 kappaletta 30 s maksimisprinttiä nosti 5 viikossa ennestään hyvin harjoiteltujen pyöräilijöiden tulostasoa kaikilla tarkastelluilla mittareilla (PPO, 1 ja 4 km aika-ajo sekä AnK-tehoa) (Paton & Hopkins, 2005). Edelleen, hyvin lyhyet 5- 15s sprintit auttoivat lyhyeen suoritukseen (~2min), pitkää ei testattu (Bickham *et al.*, 2006).

30s juoksu-SIT on parantanut 10km (~37min), 3km, ja 30s sprinttiaikoja juoksijoilla (Bangsbo *et al.*, 2009), vaikka viikoittainen juoksumäärä intervention aikana olikin noin puolet aiemmasta. VO_{2max} pysyi ennallaan antaen viitteitä siitä, että suoritustaso parani perifeeristä ja

neuraalista reittiä. Tässä nimenomaisessa tutkimuksessa ainoastaan Na-K -pumpun toiminnan oli havaittu parantuneen havaittavasti.[10]

Edelleen, kahdesti viikossa tehty SIT-harjoittelu (4 – 10 x 30 sek) nosti kohtalaisesti harjoitelleilla (VO_{2max} ~57 ml/kg/min) kestävyyssuorituskykyä ja reiden aktivaatiota (Creer *et al.*, 2004). SIT-harjoittelu (12 x 30s @ 175 %PPO) on myös kasvattanut suorituskykyä niin aika-ajon kuin kynnystenkin suhteen (Laursen *et al.*, 2005).

Ylipäätään voisi alle 30s SIT-harjoittelu ainakin ylläpitää suoritustasoa, vaikka kokonaisvoluumia laskisi 50 – 60 % (Iaia & Bangsbo, 2010; Kilen *et al.*, 2014). Tapauksesta riippuen se voi myös nostaa suoritustasoa, etenkin lyhyitä aikoja uupumiseen. Niinpä SIT-harjoittelu voisi olla varteenotettava tapa ylläpitää kuntoa tilanteissa, joissa kokopitkää harjoittelua ei ehditä syystä tai toisesta tekemään. Edellä olleiden tutkimusten mukaan SIT-harjoittelukuuri ei myöskään tuntuisi ainakaan haittaavan suorituskykyä, joten sen puolesta sitä voi olla turvallista kokeilla omalle kohdalle.

Lisätietoja SIT-harjoitettelusta hyvin harjoitelleille urheilijoille voi lukea esimerkiksi lähteistä (Iaia & Bangsbo, 2010; Buchheit & Laursen, 2013*a*, 2013*b*). Erityisesti artikkelin (Iaia & Bangsbo, 2010) taulukkoon 2 on koottu hyvin harjoitelluille tehtyjen SIT-tutkimusten antia.

SIT-harjoittelun vaiettu heikkous

SIT tutkimuksissa, kuten interventioissa usein, tutkimuksen pituus on yleisesti vain muutamia viikkoja (Gibala, 2015), joten kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä SIT -harjoittelun hyödyllisyydestä ei voida tehdä. SIT vaatii henkisesti suuren motivaation, ja voikin olla, että harjoittelija ei pysty monia kuukausia tekemään 3 kertaa viikossa maksimaalisia suoritteita.

Tosin on myös esitetty, että passiivisille ihmisille SIT ei välttämättä sovellu, koska se on niin työläs, voi aiheuttaa epäpätevyyden tuntemuksia ja alentaa itsetuntoa (Hardcastle *et al.*, 2014). Niinpä vaikka SIT olisikin aikasäästeliäs keino, niin jos ihmiset pitävät sitä kammottavana, se ei lainkaan lisää liikuntaa. Lisäksi, koska passiiviset ihmiset eivät välttämättä osaa motivoitua ja tehdä SIT-harjoittelua sen vaatimalla tasolla, ei SIT harjoittelu heillä ole sitä mitä sen tulisi olla. Myös esimerkiksi Heiskanen (Heiskanen, 2019) tarkastelee lyhyesti SIT-harjoittelua tavallisille ihmisille ja toteaa loppulauseenaan, että se toimii, mutta vaatii suurta motivaatiota, eikä välttämättä siksi toimi kotona tehtäväksi kaikille. Kun asiaa on tutkittu, niin verrattuna MIT harjoitteluun (vk1) SIT tuntuu rankemmalta ja aiheuttaa negatiivisia tuntemuksia enemmän, etenkin harjoitusjakson alussa. Nämä tuntemukset hieman vähenevät kahden viikon aikana (Saanijoki *et al.*, 2015, 2018). Eli vaikka SIT fysiologisesti toimisikin hyvin, niin psykologisesti se ei välttämättä ole paras keino kunnon kohotukseen siihen tarvittavan suuren motivaation ja itseluottamuksen takia.

Viime aikoina on myös kehitetty normaaleille ihmisille paremmin sopivia SIT-harjoittelumuotoja. On osoitettu, että kuuden viikon ”maksimaalinen” 3 x 20 sekunnin porrasjuoksu siroteltuna pitkin päivää (1 – 4 h välein) kolmesti viikossa nostaa maltillisesti (+4,6 %) nuorten ihmisten hapenottokykyä (Jenkins *et al.*, 2019). Oleellista kunnon kohotuksessa voisikin siis sanoa olevan se, että viikon mittaan tulee myös intensiivistä liikettä, ns. väliapalaliikuntana, eikä harjoittelumuoto ja palautusajat ole niin olennaisia (Stamatakis *et al.*, 2019). Suhteellisen tuore kokooma-artikkeli antaisikin osviittaa, että hyvin rankoiksi koetut ”klassiset” 4 – 6 x 30 sekunnin

[10] Se, ettei fysiologisia muutoksia havaittu tilastollisesti merkitsevästi ei tarkoita, etteikö niitä olisi voinut tapahtua.

SIT-harjoittelun voisi korvata 3 x 20 sekunnin SIT-harjoittelulla, jossa hyödyt ovat edelleen selkeästi mitattavissa, mutta kokonaisrasitus mitattuna RPE:llä sekä harjoituksen kokonaisaika jäävät pienemmiksi (Vollaard & Metcalfe, 2017).

SIT-harjoittelun hyvänä puolena pidetään ajansäästöä, mutta siitäkin voidaan olla montaa mieltä. Omakohtaisesti sanoisin, että itse harjoitus kestää ajallisesti vähän aikaa, mutta harjoituksen intensiteetin takia yksittäisestä harjoituksesta siirtyminen esimerkiksi keskittymistä vaativiin työtehtäviin ei välttämättä onnistu tunninkaan sisällä. Myös tutkimukset tukevat tällaista subjektiivista tuntemusta: vertailussa lyhyehköstä LIT-harjoittelusta (60min) keho palautuu nopeammin kuin 30s SIT-harjoittelusta, kun tarkastellaan minuttitilavuutta, sykettä, periferistä vastustusta (Rossow *et al.*, 2009). Verenpaineessa tätä eroa ei huomaa.

SIT-harjoittelun fysiologiset vasteet

SIT-harjoittelun on nähty kirjallisuudessa vaikuttavan seuraavasti. (RST=repeated sprint training).

Suorituskyvyn paranemisia:

- Paransi VO_{2max} (lähes kaikki SIT-tutkimukset, esim. (Iaia *et al.*, 2008; Hazell *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2013))
- Yhdistetty SIT + HIT -harjoittelu (VO_{2max} 55 ml/kg/min) antoi lähinnä sprinttiparannusta, ihan vähän VO_{2max} (Nevill *et al.*, 1989).
- Paransi aika-ajosuoritusta pyöräilyssä TT_{5km} (Hazell *et al.*, 2010), TT_{250kJ} (Burgomaster, 2006), TT_{750kJ} (Gibala *et al.*, 2006), TT_{50kJ} (Gibala *et al.*, 2006), ja juoksussa TT_{3km} (Koral *et al.*, 2018).
- Paransi TTE @ 80 % VO_{2max} (+100%) (Burgomaster *et al.*, 2005), juoksun TTE @ 90 % VO_{2max} (Koral *et al.*, 2018), ja $TTE_{\sim 30sek}$) (Sökmen *et al.*, 2018).
- Parantaa pyöräilyn hyötysuhdetta hyvillä viikossa (1:5 5 – 45 sek sprintit, yht 2h) (Clark *et al.*, 2014), SIT + hyppy parantaa hyötysuhdetta (Paton & Hopkins, 2005)
- Paransi Wingate-testin tulosta (Hazell *et al.*, 2010; Ma *et al.*, 2013; Ijichi *et al.*, 2015).
- 50 m sprinttiaika parani paremmin kuin MIT:ssä (Sökmen *et al.*, 2018), 30s juoksusprintti parani (Iaia *et al.*, 2008).
- RST paransi lähinnä sprinttiä (ei VO_{2max}), etenkin jos lepoaika on pitkä (Iaia *et al.*, 2017).
- Paransi AnK (kahdesti päivässä tehtynä) (Ijichi *et al.*, 2015) myös hyvin harjoitelleille (Paton & Hopkins, 2005; Inoue *et al.*, 2016)
- Parani hyvin harjoitelleiden AerK (Inoue *et al.*, 2016)
- Paransi hyvin harjoitelleiden juoksijoiden taloudellisuutta (Gunnarsson *et al.*, 2012)

Perifeerisiä paranemisia:

- Kasvattaa glykogeenivarastoja +25 – 50 % (Rodas *et al.*, 2000; Burgomaster *et al.*, 2005; Burgomaster, 2006).
- Kasvatti fosfokreatiinin määrää (Rodas *et al.*, 2000).

- Kasvatti fosfofruktokinaasin aktiivisuutta (Rodas *et al.*, 2000).
- Fosforylaasi parani (Dawson *et al.*, 1998).
- Paransi sitraattisyntaasin aktiivisuus (CS) (Rodas *et al.*, 2000; Burgomaster *et al.*, 2005; Gillen *et al.*, 2014, 2016).
- Paransi mitokondrioiden aerobisen energiantuoton markkereiden (kuten CS) esiintyvyyttä (Burgomaster *et al.*, 2008).
- PGC1-α esiintyvyys parani (Burgomaster *et al.*, 2008; Ma *et al.*, 2013).
- CoA aktiivisuus paranee (Rodas *et al.*, 2000).
- Mitokondrioiden proteiinien määrä kasvaa (Tabata) (Ma *et al.*, 2013)
- Hiilihydraatin ja PCr:n käyttö väheni 1h @ 65 % VO_{2max} (Burgomaster *et al.*, 2008)
- a-vO_2 arvo parani (MacPherson *et al.*, 2011)
- Insuliiniherkkyys parani (Metcalfe *et al.*, 2012; Gillen *et al.*, 2016).
- GLUT 4 -aktiivisuus parani (Gillen *et al.*, 2014)
- Parantaa Na-K-pumpun aktiivisuutta (Iaia *et al.*, 2008; Bangsbo *et al.*, 2009). RST (pitkä lepo) kasvattaa Na-K -pumppua (lyhyt-HIT enemmän) (Mohr *et al.*, 2007)
- Paransi Na/H vaihtoa (Iaia *et al.*, 2008).
- RST (pitkä lepo) kasvatti MCT1 (Mohr *et al.*, 2007).

Sentraalisia paranemisia:

- Kasvatti happivelkaa (Tabata *et al.*, 1996)
- Bufferointikyky parani (Sharp *et al.*, 1986; Gibala *et al.*, 2006).
- Verenpaine aleni (Gillen *et al.*, 2014).
- Iskutilavuus kasvanut (Viite [16] artikkelista Tschakert & Hofmann, 2013)

Ei parannuksia:

- ei parantanut CS aktiivisuutta (Tabata harjoittelussa) (Ma *et al.*, 2013), madalsi CS aktiivisuutta (Dawson *et al.*, 1998)
- Juoksun TT_{10km} ei parantunut (Iaia *et al.*, 2008).
- liian pitkä lepo RST:ssä, ja kestävyys ei enää niinkään parane, mutta sprinttikyky kyllä (Mohr *et al.*, 2007; Tønnessen *et al.*, 2011; Iaia *et al.*, 2017).

Listasta voisi jälleen vetää johtopäätöksen, että SIT-harjoittelukin parantaa kokonaisvaltaisesti kehoa. Sentraalisia parannuksia ei tässä listassa juuri ole johtuen siitä, että niitä ei ole niin paljoa tutkittu kuin periferisiä vasteita, joihin SIT-harjoittelu perinteisesti on ajateltu vaikuttavan enemmän. Pääasiallisesti SIT-harjoittelu tuntuisi parantavan aerobista ja anaerobista tehoa, aerobisten entsyymien aktiivisuutta, lihasten bufferointikykyä ja lihasten ionisäätelyä (Hazell *et al.*, 2010). Ei olla kuitenkaan vielä kokonaan yhtämielisiä siitä miten SIT-harjoittelu vaikuttaa elimistöön. Esimerkiksi laajassa HIT-kokooma-artikkelissa kirjoittajat olivat sitä mieltä, että SIT-harjoittelulla ei saavutettaisi juurikaan sentraalisia adaptaatioita (Buchheit & Laursen, 2013*a*).

SIT näyttäisi kasvattavan tehokkaasti VO_{2max}:ia, mutta sen ajatellaan johtuvan lähinnä periferisistä syistä; kardiovasteisiin ajatellaan yleensä tarvitsevan vähintään 2 minuutin kuormat (Tschakert & Hofmann, 2013). Myös esimerkiksi (MacPherson *et al.*, 2011) tukee väitettä, että SIT parantaisi ennen kaikkea periferistä osaa (SV eikä Q_{max} parantunut). Tosin tätä ei tue kaikki

tutkimus (Viite [16] artikkelista Tschakert & Hofmann, 2013): 15 sek vs. 4 x 4min antoivat yhtä hyvän parannuksen iskutilavuuteen.

Tarkasti ei ymmärretä miksi SIT-parantaa VO_{2max}-arvoja. Selityksiä voi olla: lihaksiin tulee happivaje, jonka seurauksena mitokondrioiden hengitys kokee adaptaation; bufferoinikyky paranee; Na-K-pumpun parempi toiminta (Iaia & Bangsbo, 2010; Sökmen *et al.*, 2018). Tabata-tyyppinen harjoittelu (20s/10s) on tuottanut PGC1α, mitokondrion proteiinien määrän kasvua (Ma *et al.*, 2013), mutta ei sitraattisynteesin aktiivisuuden kasvua. Sen on lisäksi nähty kasvattavan niin aerobista kuin myös anaerobista kuntoa (Tabata *et al.*, 1996).

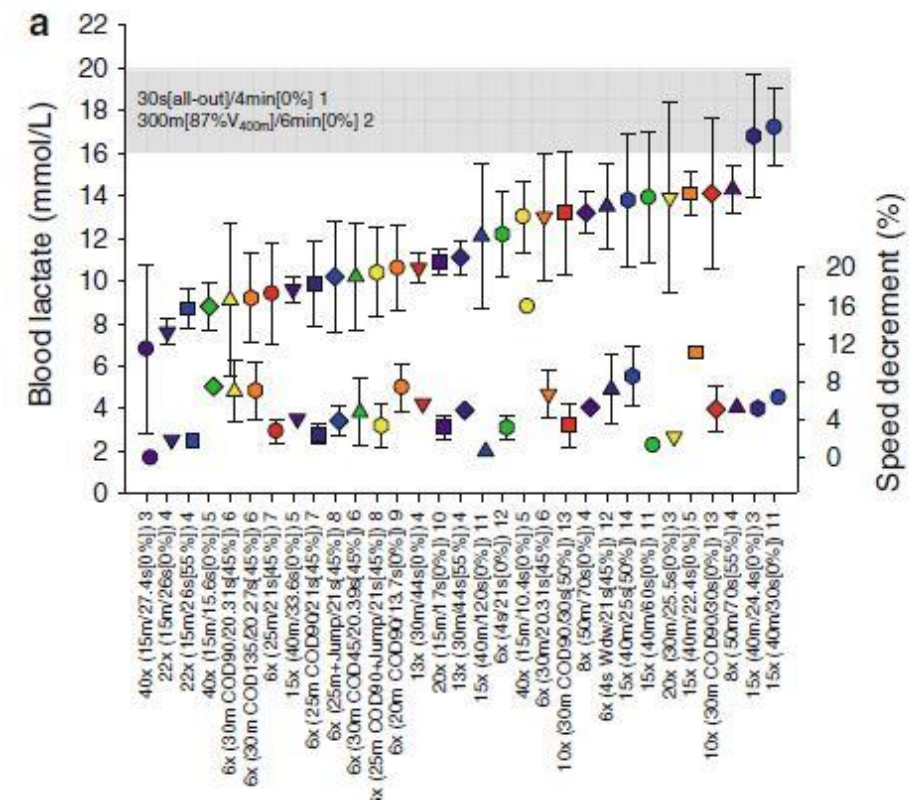
Yhdistämällä harjoittelussa lyhyttä ja pitkää SIT-vetoa on saatu monet aerobisen ja anaerobisen kunnon markkerit kasvamaan, kuten glykogeenivarastot; fosfokreatiinin määrä; kreatiinikinaasin, fosfofruktokinaasin, sitraattisynteesin ja CoA:n aktiivisuus (Rodas *et al.*, 2000). Sanalla sanoen näyttäisi, että SIT harjoittelu voisi, ainakin lyhyen aikaa, nostaa sekä aerobista että anaerobista potentiaalia.

Toistetut sprintit (RST)

Otetaan lyhyesti SIT-harjoittelusta erilleen toistetut sprintit. Näillä tarkoitetaan harjoittelua, jossa on maksimaalisella intensiteetillä suoritettu lyhyitä työjaksoja (< 10 sek), joiden välissä on hyvin lyhyt palautusjakso (< 30 sek). Tämä eroaa tyypillisestä SIT-harjoittelusta, jossa sekä työjakso (10 – 30 sek) että palautusjakso (> 2 min) ovat tyypillisesti huomattavasti pidempiä.[11] Tällaista harjoitusmuotoa käytetään tyypillisemmin joukkueurheilussa kuin puhtaissa kestävyys-/nopeuskestävyyslajeissa.

Kuvaan 17 on koottu erilaisia toistettuja sprinttejä ja niiden laktaattiarvoja ja nopeuden laskumääriä.

[11] Tabata-tyyppinen harjoittelu, jossa toistetaan 20 sek lähes maksimaalisia työjaksoja ja 10 sek palautusjaksoja on jonkinlainen epäselvä välimuoto.



Kuva 17. Erilaisia toistettuja sprinttejä ja niissä mitattuja laktaattimääriä ja nopeuden hidastumisia (viimeisen sprintin nopeus suhteessa ensimmäiseen sprinttiin). Karkeasti, mitä suurempi laktaatti, sitä anaerobisempi harjoitus. Kuva: (Buchheit & Laursen, 2013*b*).

Kuten SIT- myös RST-harjoittelu nostaa kestävyyskuntoa, mutta toisin kuin SIT, hyvin lyhyissä sprinteissä (~5s) palautuksen merkitys kasvaa. Tutkimuksessa (Iaia *et al.*, 2017) tehtiin 5s sprinttejä joko 15s tai 30s palautuksin, ja loppupäätelmänä pitkät palautukset auttoivat sprinttikykyyn paremmin ja lyhyet taas kestävyys- ja nopeuskestävyyskykyyn. Myös 6s sprintit yhden minuutin palautuksella auttoi enimmäkseen nopeuteen (Mohr *et al.*, 2007).

Luvun lopetus

SIT-harjoittelu on helppoa. Siinä tehdään vain täysillä annettu aika harjoitusta. Siksi sen tekemiseen ei tarvita sykemittareita tai muita seurantatyökaluja. Haittapuolena SIT-harjoittelu on yllättävän uuvuttava tekijälleen. Eli vaikka SIT-harjoittelu antaisikin samanlaisia kunnonparannuksia kuin MIT-harjoittelu, niin rasittavuudeltaan se on moninkertainen. SIT-harjoittelu ei tunnu olevan kovin tarkka palautusaikojen suhteen, kunhan ne eivät ole liian lyhyet.

Kestävyysurheilijat eivät tyypillisesti ole käyttäneet SIT-harjoittelua valmentautumisissaan, joten he voisivat hyötyä sen kokeilemisesta uutena variaationa harjoitteluun. Lisäksi aikasäästeliäänä harjoituskeinona se voi olla hyvä tapa ylläpitää kuntoa.

7. Harjoittelumuotojen vertailua

Aiemmin oltiin yleisesti sitä mieltä, että HIT/SIT antavat paremmat vasteet kestävyyskunnon kohotukseen kuin LIT/MIT-harjoittelu (Tschakert & Hofmann, 2013). Alkuinnostuksen jälkeen, on kuitenkin alettu havaita, että HIT/SIT harjoittelu olisikin maksimaalisen hapenottokyvyn suhteen ”ainoastaan” yhtä hyvä kuin matalatehoisempi, mutta pidempikestoisempi LIT/MIT -harjoittelu. Tätä tukevat esimerkiksi terveille aktiivisille miehille tehty metatutkimus (Milanović *et al.*, 2015), jossa loppupäätelmänä oli, että molemmilla tavoilla saatiin muutamissa viikoissa noin +5 ml/kg/min kehitys maksimaaliselle hapenotolle. SIT/HIT vs. MIT vertailussa samankaltaiseen lopputulokseen ovat päässeet normaalien aktiivisten ihmisten tutkimuksissa mm. (Foster *et al.*, 2015).

Tieteessä toisinaan vertaillaan eri muotoja laittamalla sama työmäärä, kuten LIT vs. MIT (Meyer *et al.*, 2007; O’Leary *et al.*, 2017), MIT vs. HIT (Gossard *et al.*, 1986), LIT vs. MIT vs. HIT (Helgerud *et al.*, 2007*a*) ja MIT vs. HIT (O’Donovan, 2005). On tehty myös tutkimuksia, joissa on verrattu LIT vs. MIT vs. HIT joissa eri alueita on tehty ajallisesti yhtä paljon viikossa (Chiu *et al.*, 2017). Nämä tutkimukset ovat siitä valitettavia, että tällöin esimerkiksi yksittäiset LIT-harjoitukset kestävät usein alle tunnin ja niitä tehdään kolmesti viikossa kuten HIT-harjoitteluakin (Gaesser & Rich, 1984; Helgerud *et al.*, 2007*b*; Meyer *et al.*, 2007; Nybo *et al.*, 2010; Gillen *et al.*, 2016). Toisaalta, tiedetään, että alle tunnin LIT-harjoitus ei aiheuta suurtakaan ärsykettä entsyymitasolla (Skovgaard *et al.*, 2016) ja että LIT-harjoittelusta palautuminen tapahtuu yleensä 24 tunnin sisällä kun taas HIT-harjoittelusta se saattaa vaatia > 2 vrk (Stanley *et al.*, 2013). Niinpä, jotta LIT-harjoittelu haastaisi kehoa vastaavalla tavalla kuin HIT-harjoittelu, tulisi yksittäisen harjoituksen olla pidempi ja toistua useammin, mutta tätä ei usein tutkimuksissa oteta huomioon. Toisekseen, suorituskykytestit rakennetaan useimmiten HIT-harjoittelua tukien: Testeinä ovat maksimaalinen hapenottokyky tai aika-ajosuoritus, joihin HIT-harjoittelun alun alkaen epäillään vaikuttavan paremmin kuin LIT (Gaesser & Rich, 1984; Helgerud *et al.*, 2007*b*; Nybo *et al.*, 2010). Kolmannekseen, tutkimuksien ”moderate intensity training” -ryhmän harjoittelu on usein niin intensiivistä, että se menee MIT-harjoittelun puolelle, mistä syystä varsinaisia LIT-painoitteisia harjoituksia on yllättävän vähän tarjolla.

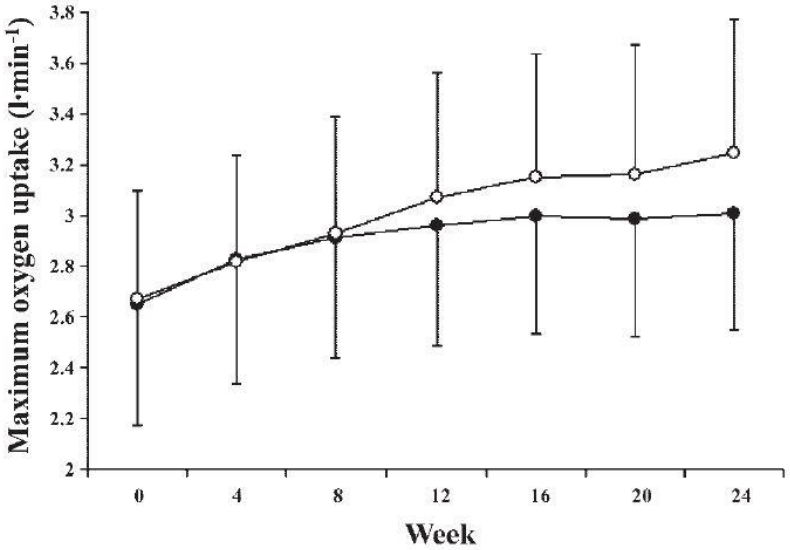
Esimerkiksi tällaiset tutkimukselliset puutteet mielessä pitäen, seuraavaan on verrattu eri harjoitusmuotoja keskenään. Toki eri harjoitusmuodot vaikuttavat eri tavoin, kuten SIT pitkälti perifeerisesti, mutta listaus on enemmän suuntaa antava.

MIT vs. HIT

Samat parannukset: (Gossard *et al.*, 1986; Overend *et al.*, 1992; Carter *et al.*, 1999; Foster *et al.*, 2015; Wewege *et al.*, 2017)

HIT parempi: Harrastajia (Seiler *et al.*, 2013), suorituskyky sama, mutta βm parempi (Edge *et al.*, 2006), Suorituskyky (Fereshtian *et al.*, 2017), Myös HIT teki MIT-harjoitteita (Esfarjani & Laursen, 2007), Terveysveriarvot ja VO_{2max} (O’Donovan, 2005), VO_{2max} (Khammassi *et al.*, 2018), Verisuonet tulevat joustavammiksi (Ramos *et al.*, 2015)

MIT parempi: Immunipuolustus (Khammassi *et al.*, 2018)



Kuva 18. 8 ensimmäisen viikon aikana MIT (vk1) (•) ja HIT (°) harjoittelu kohottaa maksimaalista hapenottoa saman verran aiemmin harjoittelemattomilla,m utta sen jälkeen HIT-harjoittelu tehoaa paremmin. Kuva artikkelista (O'Donovan, 2005).

Kuvassa 18 nähdään kuinka 8 ensimmäisen viikon aikana aiemmin liikuntaa harrastamattomilla MIT (vk1) ja HIT harjoittelu tuotti samansuuruisen VO_{2max} kasvua, mutta sen jälkeen HIT-harjoittelu tehosi paremmin. Eli harjoittelun alussa kunnon kasvuun MIT ja HIT saattavat tuottaa yhtä nopeasti samansuuruista kasvua, mutta MIT-polku voidaan käyttää loppuun nopeammin kuin HIT-polku.

Yhteenvetona tarkasteluun otettujen artikkelien mukaan HIT-harjoittelu olisi parempi kuin MIT-harjoittelu.

MIT vs. LIT

MIT parempi: (molempia 3 h/vko) (Kraus *et al.*, 2002), (Duncan *et al.*, 2005), Hyvin harjoitelleet (mutta 50km vs. 70 km/vko) (Enoksen *et al.*, 2011*a*), Yhtä suuri työ (Lee *et al.*, 2012; O'Leary *et al.*, 2017), AerK & AnK (Stasiulis, 2000), $TT_{20'}$ (Evertsen *et al.*, 1999)

Yhtä hyvä: (yhtä hyvät VO_{2max}, sama työmäärä, syke MIT aleni paremmin) (Meyer *et al.*, 2007), Sama VO_{2max}, sama työmäärä, rasvoissa MIT voitti (Lee *et al.*, 2012), (Pugliese *et al.*, 2018). Sama VO_{2max} (vaikka MITillä hieman isompi) (Gossard *et al.*, 1986)

LIT parempi: -

Harjoittelemattomille (VO_{2max} 30 – 38 ml/kg/min) tehdyissä tutkimuksissa on todettu, että MIT on vain hieman parempi kuin LIT, kun niissä tehdään saman verran työtä tai aikaa viikossa. Näissä tutkittiin lähinnä VO_{2max}:ia, painoa ja rasva-arvoja. Tähän päätyivät 6 kk (Kraus *et al.*, 2002), 12 viikon (Meyer *et al.*, 2007) ja 14 viikon (Lee *et al.*, 2012) tutkimukset.

Yhteenvetona tarkasteluun otettujen artikkelien mukaan MIT-harjoittelu olisi parempi kuin LIT-harjoittelu.

LIT vs. HIT

HIT parempi: harrastajia (Seiler *et al.*, 2013), Vähän liikkuva (ja HIT oli myös LIT mukana) (Weltman *et al.*, 1992). $VO2_{max}$ (Nybo *et al.*, 2010)

Yhtä hyvä: (Gaesser & Rich, 1984), MIT/LIT (65 – 75 % HR_{max}) (Reljic *et al.*, 2018).

LIT parempi: rasvan hapetus ja verenpaine (Nybo *et al.*, 2010), verenmäärä ja punasolumassa (Helgerud *et al.*, 2007*a*).

Yhteenvetona tarkasteluun otettujen artikkelien mukaan HIT-harjoittelu olisi parempi kuin LIT-harjoittelu.

LIT vs. MIT vs. HIT

HIT paras: VO_{2max},SV,Q (Helgerud *et al.*, 2007*a*)

MIT paras:

LIT paras: BV, punasolumassa (Helgerud *et al.*, 2007*a*)

LIT & MIT paras:

HIT & MIT paras: ylipainoisille (Chiu *et al.*, 2017)

On hyvin vähän tutkimuksia, joissa kaikkia kolmea harjoitusmuotoa olisi otettu huomioon, joten selkeää suuntaa paremmuuksista ei voida sanoa.

SIT vs. HIT

SIT parempi:

Yhtä hyvä: (Foster *et al.*, 2015) hyvin harjoitelleille (Laursen *et al.*, 2005; Inoue *et al.*, 2016)

HIT-parempi: (Mohr *et al.*, 2007)

Yllättäen hyvin vähän tehdään HIT vs. SIT -harjoitusvertailuja. Ne muutamat, jotka otettiin mukaan, näyttäisivät sanovan, että SIT- ja HIT-harjoittelu olisivat enemmän tai vähemmän yhtä hyviä.

SIT vs. MIT

SIT parempi: (Sökmen *et al.*, 2018), a-vO_2 ero (MacPherson *et al.*, 2011), anaerobinen kapasiteetti (Tabata *et al.*, 1996), kehonkoostumus (Trapp *et al.*, 2008)

Yhtä hyvä: (Gibala *et al.*, 2006), tuloskunto (MacPherson *et al.*, 2011), aerobinen kapasiteetti (Tabata *et al.*, 1996), aerobinen kapasiteetti (Trapp *et al.*, 2008), piip-testi, VO_{2max} (Rowan *et al.*, 2012), (Zelt *et al.*, 2014).

MIT parempi: Q_{max}, iskutilavuus (MacPherson *et al.*, 2011)

Akuutisti verrattuna SIT (7x 30s max) ja MIT (3 x 20 min @ 87 % VO_{2max}) antavat hyvin harjoitelleille kolmeksi tunniksi samankaltaiset nostot PGC-1α entsyymien esiintyvyyteen, kuitenkin sillä erolla, että SIT:in jälkeen PGC-1α:n alapuolella olevat signaalipolun aktivoitumisentsyymi Tfam oli koholla kun taas MIT:n jälkeen ei. Ylävirrassa olevat entsyymit olivat yhtä paljon koholla. Mutta tämä tarkastelu antaisi osviittaa siitä, että tällä hetkellä olennaisimpana kestävyyssignaalireittiä katsellessa SIT ja MIT-harjoittelu olisivat yhtä tehokkaita.

Yhteenvetona tarkasteluun otettujen artikkelien mukaan SIT-harjoittelu olisi yhtä hyvä kuin MIT-harjoittelu.

SIT vs. LIT

SIT parempi:

Yhtä hyvä: (Gillen *et al.*, 2016)

LIT parempi:

Kuten luvun alussa mainittiin, ei LIT-tutkimuksia ole kovin monia tehty, ja erityisesti SIT-harjoitteluun verratessa käytetään useimmiten MIT-harjoittelua.

Loppupohdinta

Toisinaan annetaan ymmärtää, että korkeaintensiteettinen harjoittelu voisi antaa adaptaatioita lyhyemmän ajan kuin LIT-harjoittelu (Seiler & Tønnessen, 2009). Käytännössä tämä tarkoittaisi, että suuri määrä LIT-harjoittelua toistettuna vuodesta toiseen antaisi edelleen kestävyysadaptaatioita, kun taas SIT/HIT-harjoittelun kehittävyys loppuisi jossain vaiheessa.

Henkilökohtaisena mielipiteenäni minulla olisi tällä hetkellä, että LIT-harjoittelu voisi auttaa lihassolusuhteen muokkaamisessa. Esimerkiksi (Rusko, 1992) huomasi, että 10 vuoden kestävyysharjoittelu oli muuttanut selkeästi lihassolusuhdetta I-voittoisammaksi. Edelleen, jäniksille on tehty sähköshokkikokeita, joissa pääosin nopeita II-lihassoluja sisältävälle lihakselle annettiin monia viikkoja 10 impulssia sekunnissa vuorokauden ympäri. Kuuden viikon jälkeen kyseinen lihas oli muuttunut niin, että se sisälsi ainoastaan hitaita I-lihassoluja (Henriksson, 2000). Katso myös (Jolesz & Sreter, 1981; Salmons & Henriksson, 1981; Pette, 1984). Nämä kaikki antaisivat ymmärtää, että lihassolu voisi muuttua nopeasta II-solusta hitaaksi I-soluksi. Koska tällainen muutos normaaleissa olosuhteissa lienee erittäin hidas ja tarvitsee suurta määrää ärsykettä, voisi olla, että monia vuosia kestävä runsas LIT-harjoittelu olisi se tarvittava ärsyke, joka ajaisi kestävyysurheilijoilla muutosta kohti I-lihassoluja. Tämä selittäisi esimerkiksi myös sen, miksi kestävyysurheilijat näyttäisivät saavuttavan huipun yleensä verrattain myöhäisellä iällä verrattuna nopeuslajeihin[12]; yksinkertaisesti lihassolusuhteen muuttaminen on niin hidas prosessi ja siitä on niin paljon hyötyä, että se pidentää uraa, vaikka neurolihasjärjestelmä ja maksimaalinen hapenottokyky olisivat jo muuten laskeneet alemmalle tasolle.

Tutkimuksellisesti tällainen hypoteesi on haasteellinen, sillä se vaatisi monen vuoden tutkimusintervention ja ryhmän, joka sitoutuisi tekemään ainoastaan LIT-harjoittelua.

[12] Esimerkiksi pyöräilyn Ranskan ympäriajossa on oma kategoria ”nuorten kilpailu”, joka on tarkoitettu alle 25-vuotiaille.

8. Voiko HIT = MIT?

HIT-harjoittelussa työjakson ja lepojakson pituudet vaikuttavat merkittävällä tavalla harjoitusvasteeseen. Seuraavassa kuvassa on tehty harjoitus kolmella eri työjakson pituudella (10 sek, 30 sek ja 60 sek) samalla intensiteetillä ja samalla työ:lepo -suhteella (1:2). Nähdään, että mitä lyhyempi työjakso, sitä pienempi on anaerobisen energiantuoton rooli, koska energiaa saadaan lepojaksoilla täytetyistä myoglobiinivarastoista. Sitä vastoin 60 sekunnin työjakso on jo niin rankka käytetyllä teholla, että sitä ei pystytä jatkamaan täyttä aikaa.

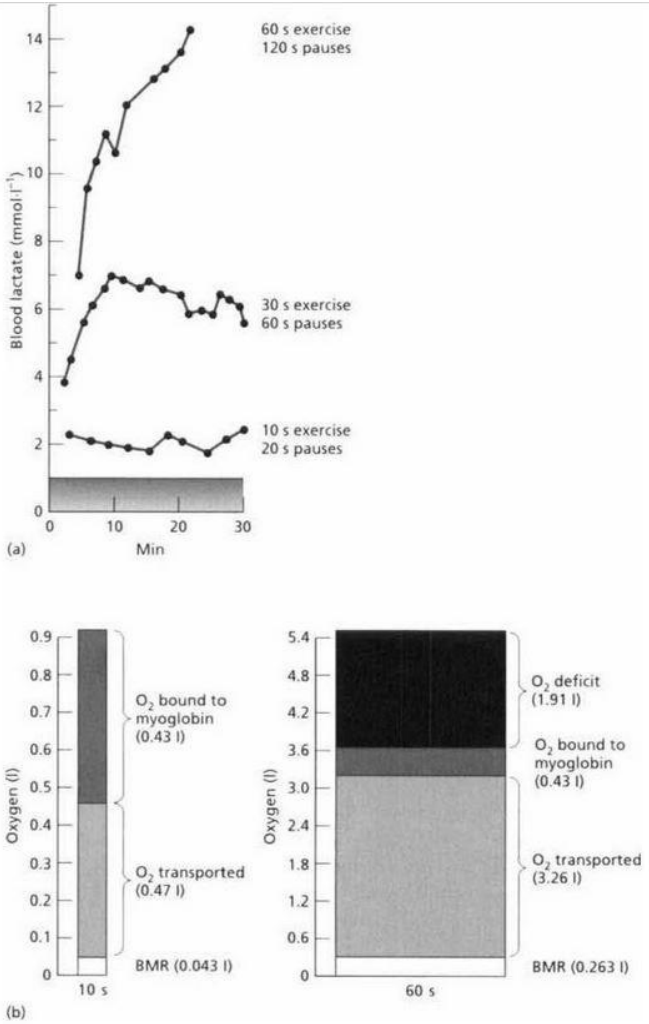


Fig. 2.1 (a) Blood lactate concentration in a total work production of 247 kJ in 30 min. The exercise was accomplished with a power of 412 W, the exercise periods being 10, 30 and 60 s, and the rest periods 20, 60 and 120 s, respectively. The lower shaded area shows lactate concentration at rest. (b) Oxygen requirement for 10 s and 60 s power of 412 W. The schematic drawing indicates the basal metabolic rate (BMR), the calculated fractions of oxygen bound to myoglobin and transported by the blood, and the oxygen deficit. From Åstrand *et al.* (1960).

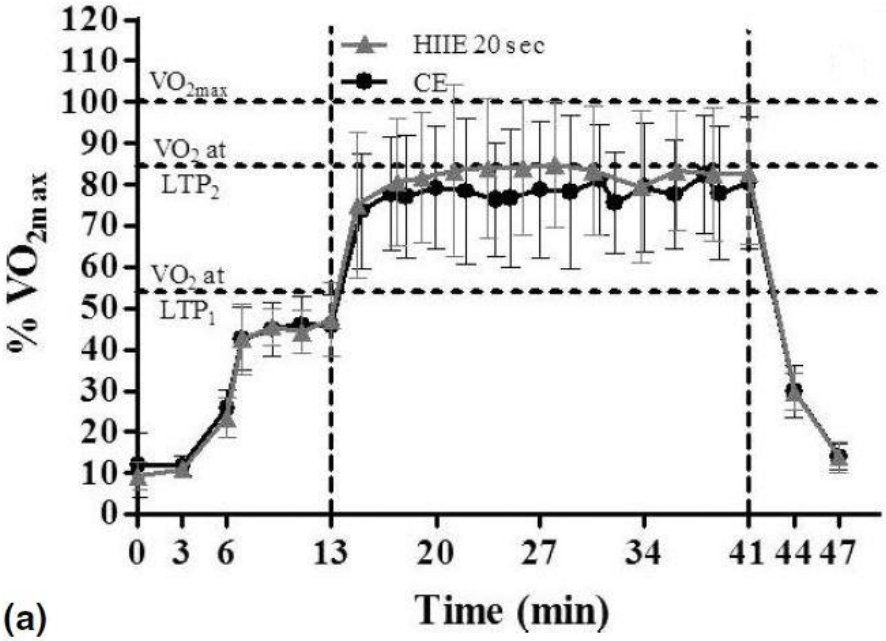
Kuva. Työ:lepo -suhteella 1:2 tehtyjä harjoituksia kolmella eri työjakson pituudella (10 sek, 30 sek ja 60 sek). Ylemmässä kuvassa laktaatti pysyy 10 sek -harjoituksessa selkeästi rajoitettuna, 30 sek-harjoituksessa vielä vakiona, ja 60 sek -harjoituksessa se kasvaa uupumiseen asti. Alemmassa kuvassa nähdään, että 10 sek -harjoituksessa käytännössä koko harjoituksen energia rakennetaan aerobisesti: käyttäen joko myoglobiiniin sitoutunutta happea tai hengitettyä. sitä vastoin 30 sek-harjoituksessa happivelka (eli anaerobisen energiantuoton osuus) on huomattavan suuri. Kuva: (Luku 1 kirjasta Shephard & Astrand, 2000).

Näin ollen eräs mielenkiintoinen seikka harjoittelussa on hyvin lyhyiden HIT-vetojen ja MIT-harjoituksen vertaaminen keskenään. Nimittäin, otetaan seuraavanlainen lyhyt-HIT-harjoitus:

- Työintervallin pituus noin 10 – 30 sekuntia;
- Intensiteetti maltillinen, noin P_{max} tai vVO_{2max};

- Palautusjakso riittävä (vähintään suhteessa 1:1).

Tällöin saadaan hyvin paljolti MIT-harjoitusta vastaava harjoitus aikaiseksi, jos asiaa katsotaan hapenkulutuksen (ks. kuva 19), laktaatin tai sykkeen mukaan (Tschakert & Hofmann, 2013; Tschakert *et al.*, 2015). Niinpä voisi olettaa, että tällainen HIT-harjoittelu ei aiheuta sentraalisti sen suurempaa palautusaikaa kuin MIT-harjoittelu. Sen sijaan suuremman vauhdin takia ärsyke neurolihasjärjestelmälle on suurempi, joten perifeerinen palautusaika voi olla hieman pidempi.



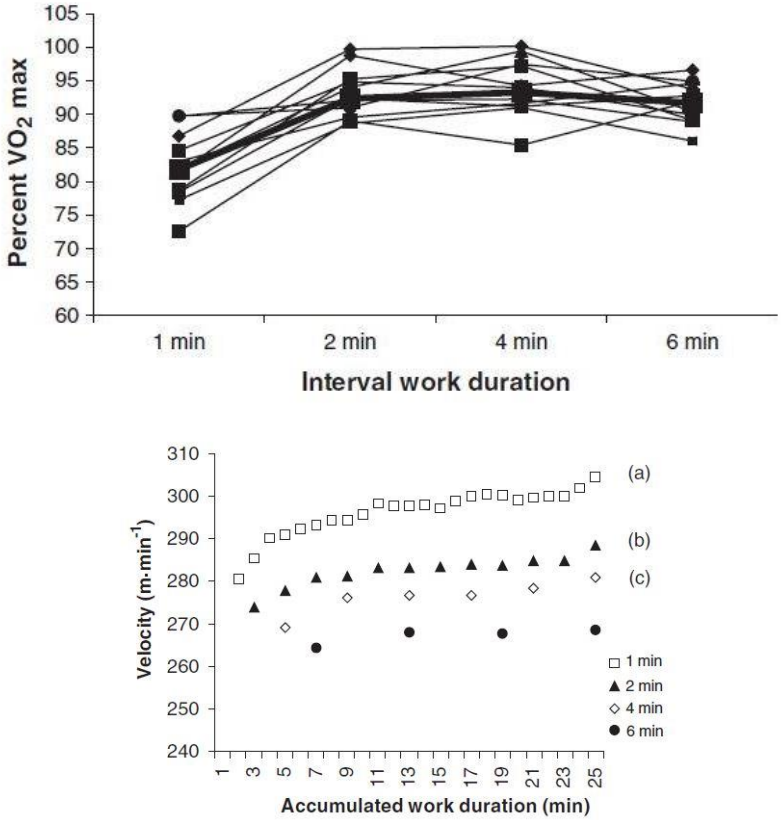
Kuva 19. Vertailussa MIT (63 % P_{max}) ja HIT (20 sec @ P_{max} / lepointervalli @ AerK niin että keskimääräinen teho on sama kuin MIT:ssä). Nähdään, että hapenkulutukset vastaavat täysin toisiaan. Samaten laktaatti ja syke eivät eroa toisistaan. Sitä vaston 4 x 4 min HIT:ssä em. markkerit käyttäytyvät eri tavalla. Kuva (Tschakert & Hofmann, 2013).

Käytännössä tämä tarkoittaa, että esimerkiksi juoksijat voisivat korvata talvella vauhtikestävyysharjoittelujaan kovavauhtisemmilla lyhyt-HIT-harjoituksilla, ja säilyttää näin ympäri vuoden kisavauhtisia harjoituksia ilman, että palautus kärsisi kovasti. Edelleen, kokeneet urheilijat, joilla MIT-harjoittelun teho voi alkaa olla valjumpi, voivat yrittää korvata MIT-harjoitteluaan lyhyt-HIT-harjoituksilla, ja saada näin samaan harjoitusvasteeseen uudenlaista ärsykettä. Kolmanneksi, urheilijat, jotka haluavat kokeilla polarisoitua harjoittelua, voivat edelleen saada MIT-harjoitteluvasteita, mutta käyttäen polarisoitunutta lähestymistapaa.

9. Intensiteetin ja pituuden ja palautuksen vaikutuksia

Työintervalli

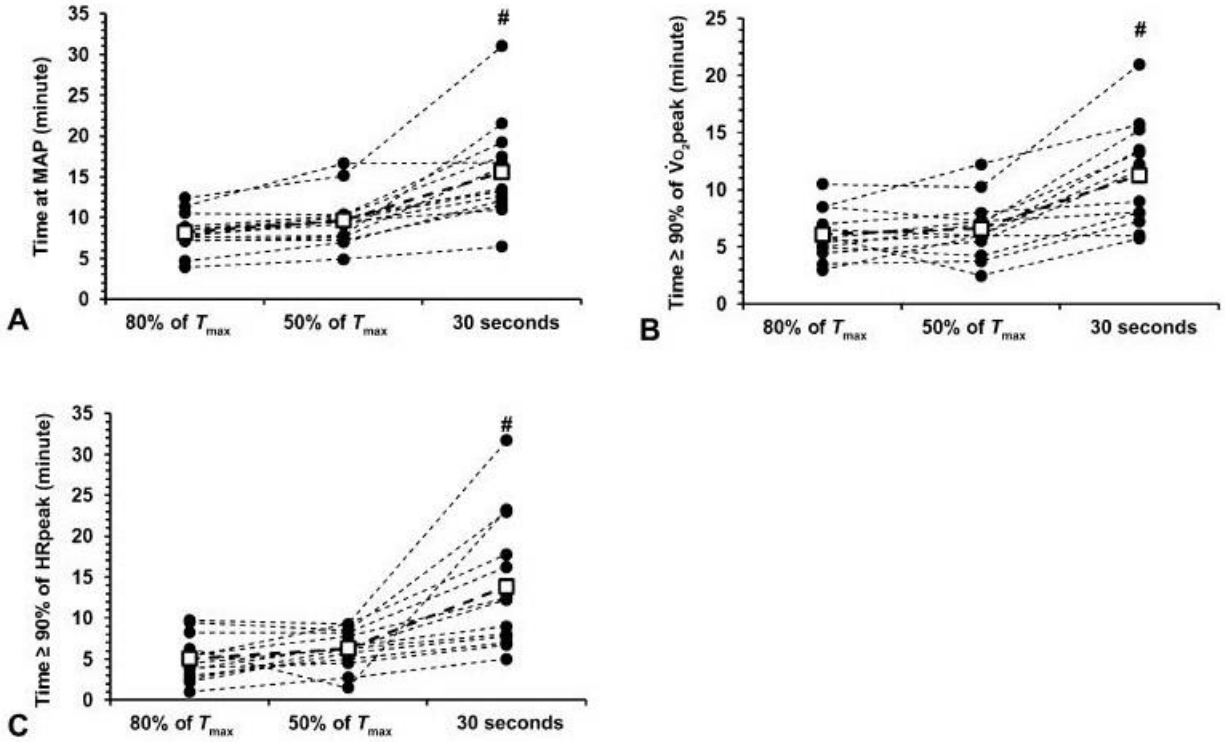
Jos intervalliharjoittelu tehdään suurimmalla mahdollisella keskinopeudella, niin luonnollisesti työintervallin pituus vaikuttaa ylläpidettävän nopeuden määrään. Esimerkiksi artikkelissa (Seiler & Sjursen, 2004) työintervallin nopeus juoksijoilla vaihteli 102 – 113 % v_{AnK}, kun työintervalli oli 6 – 1 min (palautuksen ollessa vakiona 1:1 ja kokonaisjuoksuaika 24 min). Suurin eroavaisuus eri intervalleissa oli hapenkulutuksen kasvaminen tavoitearvoon. Liian lyhyellä työintervallilla hapenkulutus ei ehdi nousemaan tavoitetasolle. Toisaalta liian pitkässä intervallissa työskentelyintensiteetti saattaa jäädä liian matalaksi. On havaittu, että 2 – 6 minuutin intervalleissa (1:1 palautuksin) hapenkulutuksen käyttäytyminen on samankaltaista (katso kuva 20) (Seiler & Sjursen, 2004) ja että fysiologisesti 3 – 5 minuutin kuormat voisivat tuottaa parhaimmat vasteet. Ehkä hieman yllättäen RPE ja laktaatti olivat kaikissa 1 – 6 minuutin intervalleissa samankaltaista. Palautumisessa syke on sinänsä huono mittari, että se kertoo enemmän sentraalista palautumisesta, jolloin ainoastaan sykettä seuraten ei voida päätellä onko palautuminen ollut riittävää lihastasolla (Seiler & Sjursen, 2004). Siksi esimerkiksi intervallien aloittaminen ”Heti kun syke on laskenut alle 135 lyönnin/min” voi olla huono käytännön harjoittelussa.



Kuva 20. Ylemmässä kuvassa huippu VO_2-arvo eri tutkittavilla 1, 2, 4 ja 6 min intervalleissa (kokonaistyöaika 24 min). Musta paksu viiva kuvaa keskiarvoa. Nähdään, että 1 min intervalleissa huippu VO_2 jää pienemmäksi kuin muissa. Alemassa kuvassa vastaavien intervallien vauhdit. Nähdään, että 1 min intervalleissa juoksuvauhti on ollut huomattavasti muita intervallimuotoja nopeampi. (Lisäksi nähdään, että testattavana olleet kokeneet juoksijat eivät aloita intervallejaan liian nopeasti, vaan ennemminkin varovaisen hitaasti, säästelleen voimia loppuunkin.) Kuva: (Seiler & Sjursen, 2004).

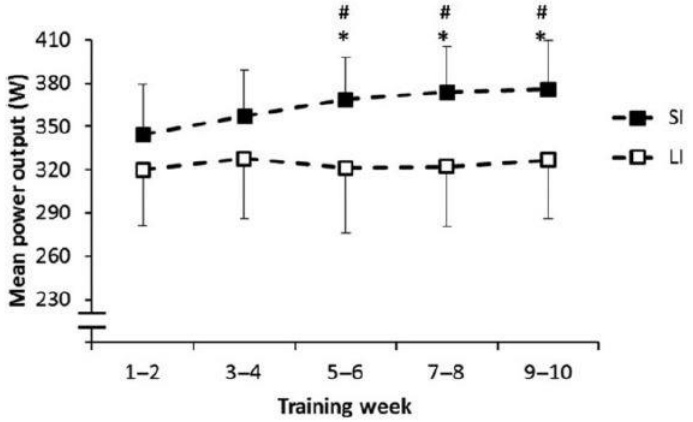
Tosin tällaisissa vertailututkimuksissa on oletusarvona se, että parhaimpaan adaptaatioon päästäkseen olisi hapenkulutuksen noustava tietyn raja-arvon yli. Kuitenkin, SIT-interventioista hyvin tiedetään, että hapenkulutusta saadaan parannettua ilman huomattavaa hapenkulutusta itse intervalleissa. Niinpä vaikka 1 min intervalleissa hapenkulutus jäi ylläolevassa tutkimuksessa pienemmäksi kuin vaikka 4 min intervallissa, on siinä nopeus kuitenkin huomattavasti suurempi, jolloin hermolihasjärjestelmän mukana tuomat kokonaisadaptaatiot voivat olla suuremmat kuin mitä fysiologisilla mittauksilla pelkästään voisi ajatella.

Kun on tarkasteltu 100 % VO_{2max} intensiteetillä tehtyjä intervalleja uupumiseen ja katsottu millä intervallitavalla saataisiin pisin aika hapenkulutus >90 % VO_{2max}, näyttäisi, että lyhyet (~30s) intervallit 2:1 palautuksella (~15s) olisi parempi (kuva 21) kuin yksilöllisempi työjakson pituus 50 % tai 80 % T_{max} 2:1 palautuksella (Rønnestad & Hansen, 2016). Lisäksi 30s vedoilla aika uupumiseen oli selkeästi pisin (23min vs. 14 min & 11 min). 30 s vedot voisivat toimia paremmin, koska silloin kiihdytyksiä tulee useammin ja niin neuromuskulaarinen systeemi saa suuremman stimuluksen kuin pidemmissä (ja vähemmän tiheästi alkavissa) vedoissa (Rønnestad *et al.*, 2015).

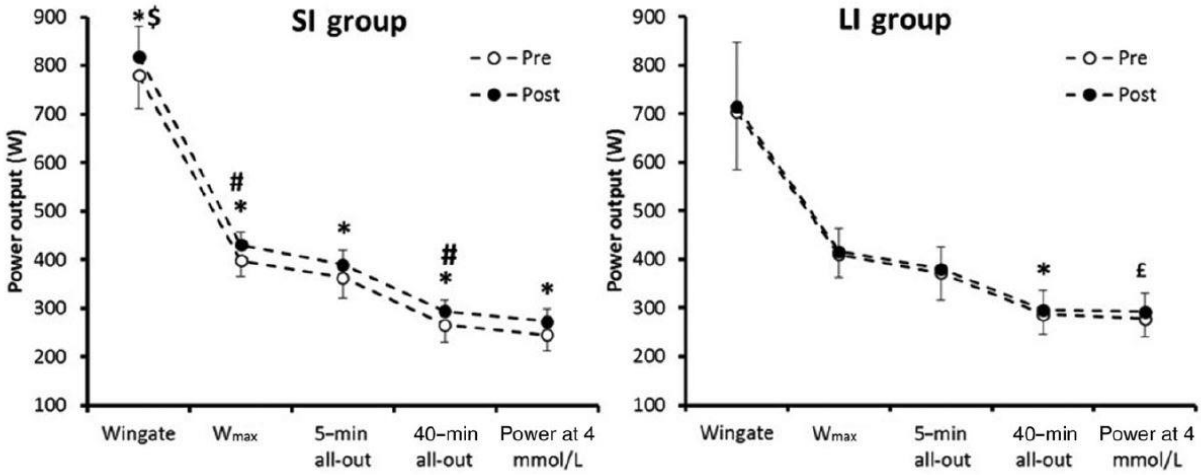


Kuva 21. 30s intervallit VO_{2max} intensiteetillä antoi pidemmän ajan lähellä maksimihapenottoa kuin yksilöllisemmät 50 % tai 80 % T_{max} samalla 2:1 palautuksella tehtynä. Kuva: (Rønnestad & Hansen, 2016).

Interventiossa on myös nähty, että pidemmät (> 5 min) intervallit ovat olleet paremmat eliittijunioreille (Sandbakk *et al.*, 2013) ja kohtuullisesti harjoitelleille (Seiler *et al.*, 2013) ja lyhyemmät (< 5 min), 4 x 4 min hyvin harjoitelleille (Stepto *et al.*, 1999) ja 30s vedot hyvin harjoitelleille (katso kuva 22 ja 23) (Rønnestad *et al.*, 2015).



Kuva 22. Suurimman ylläpidettävän tehon kehitys 10 viikon interventiossa. SI: 3 x 13 x 30s, LI: 4 x 5 min. Nähdään, että syystä tai toisesti lyhyissä vedoissa tapahtuu kehitystä koko 10 viikon intervention aikana, kun taas pitkissä vedoissa keskiteho ei juurikaan muutu. Kuva: (Rønnestad *et al.*, 2015).



Kuva 23. Lyhyiden ja pitkien intervallien vaikutus tehontuottoon. Nähdään, että lyhyt-HIT olisi ainakin tämän tutkimuksen mukaan parempi kuin pitkä-HIT. SI: 3 x 13 x 30s, LI: 4 x 5 min. Kuva: (Rønnestad *et al.*, 2015)

Ylipäätään näyttäisi siis, että monilla eri tavoin niin pitkällä- kuin lyhyellä-HIT-harjoittelulla voi saavuttaa hyviä tuloksia, ja jälleen kyse lienee pitkälti urheilijan yksilöllisyydestä. Ylläolevissa tutkimuksissa voidaan ajatella, että juniorit ovat avoimia kaikenlaisille harjoituksille, ja siksi pitkät toimivat hyvin heille. Kokeneemmat urheilijat ovat taas voineet jo harjoitteluhistoriansa aikana tehdä paljonkin pitkiä-HIT-harjoitteluja, ja lyhyt-HIT on voinut olla uusi harjoitusmuoto heille.

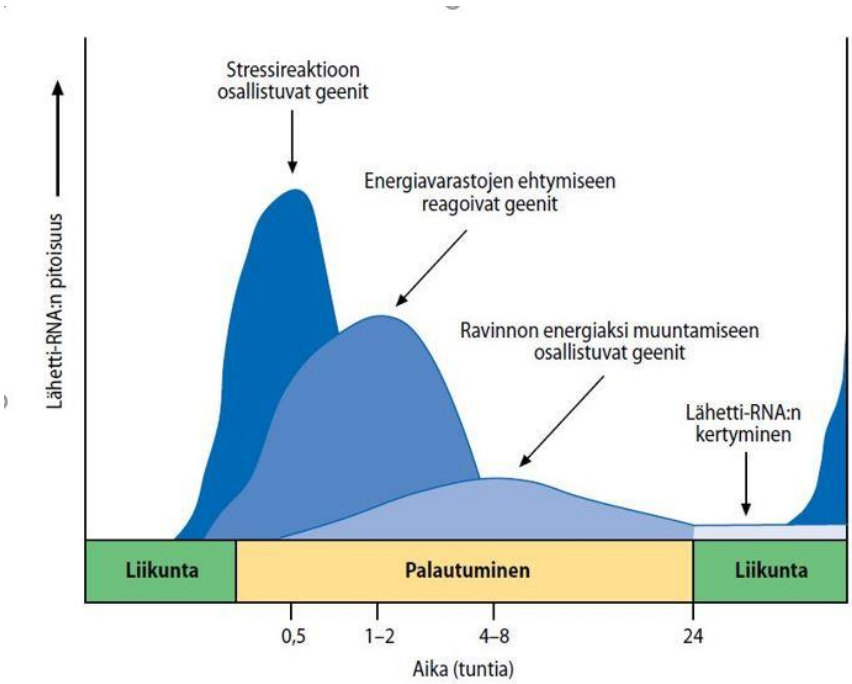
Pyramidi-intervalli

Jos pyramidi-intervalli on joko laskeva tai nouseva ja nopeus niissä on samantasoinen, niin laskeva rasittaa luonnollisesti enemmän: laskevassa pyramidissa ensimmäisenä tehdään pisin

intervalli, jolloin viimeisenä tehtävään lyhyimpään keho on jo hyvinkin väsynyt. Oletuksena laskeva pyramidi antaisikin suuremmat adaptaatiot kuin nouseva, ja näin näyttäisi interventionkin mukaan käyvän (Sindiani *et al.*, 2017)

Adaptaatioreitit

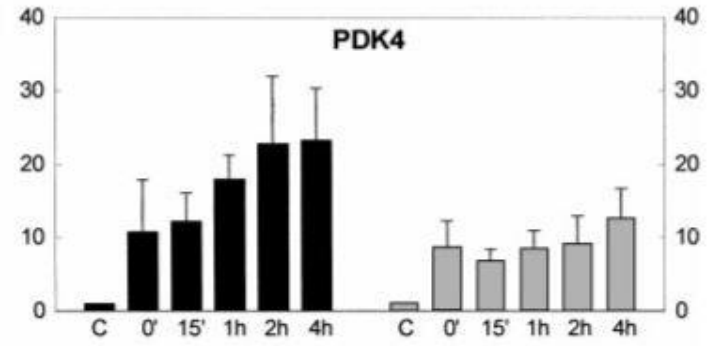
Yksittäinen liikuntasuoritus tehostaa eri kestävyysadaptaatioihin vaikuttavien geenien ilmentymiin muutamasta tunnista jopa viikkoon (ks. kuva 24). Liikunta siis tehostaa ja vahvistaa tiettyjen geenien toimintaa, ja näin tehdessä se voi edelleen vaikuttaa säätelyketjussa muiden geenien toimintaan. Kaikkiaan saadaan monimutkainen vaikutus, joka parantaa kestävyyskuntoa sekä hoitaa ja ehkäisee kroonisia sairauksia. (Lakka, 2006)



Kuva 24. Harjoittelu moninkertaistaa eri geenien ilmentymisen lihaksissa, mistä mRNA-geenin pitoisuus on merkkinä. Nämä mRNA-geenien pitoisuudet kasvavat ja kestävät eri aikaskaaloissa, jolloin tietyt palautusprosessit toimivat nopeammin kuin toiset. Kuva otettu (Lakka, 2006).

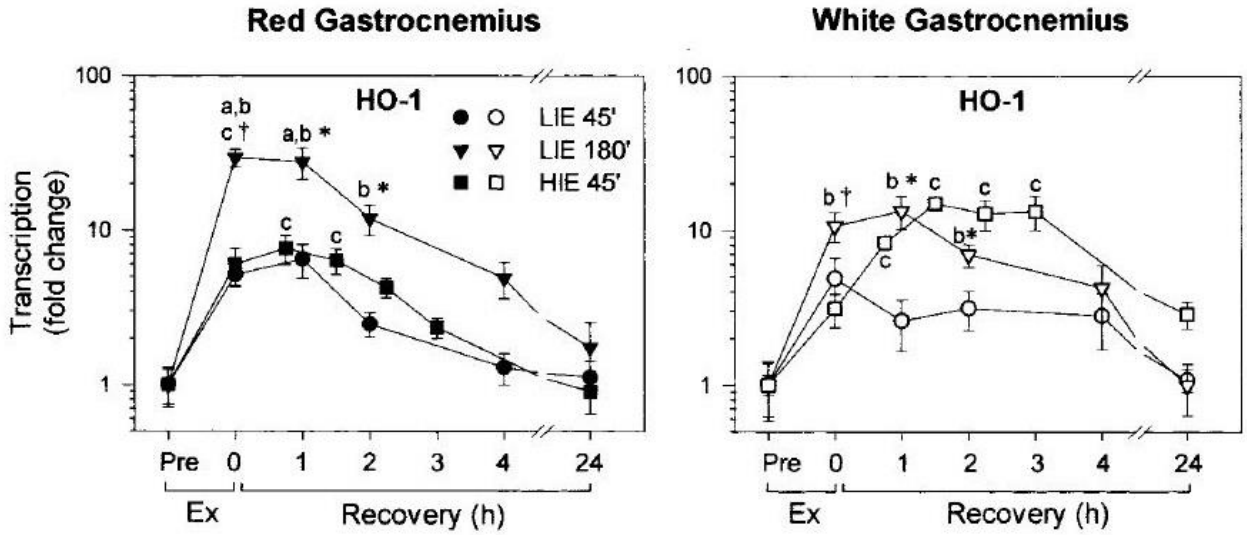
On esitetty, että keholla olisi hormonaalisiin ja signaalipolkuvasteiden käynnistämiseen tietyt raja-arvot, ja tämä raja-arvo riippuisi mm. geeneistä ja harjoitustaustasta (Hofmann & Tschakert, 2017). Tätä tukevat huomiot, että 60 minuutin LIT harjoittelu ei harjoitelleilla riittänyt nostamaan PGC1-α:n määrää (Skovgaard *et al.*, 2016).

Kestävyyssuoritukseen liittyvien geenien transkriptio ja mRNA aktiivisuus kasvaa sitä enemmän mitä kauemmin LIT-harjoitus kestää (Pilegaard *et al.*, 2000). Kuvassa 25 nähdään esimerkkinä PDK4 -geenin transkriptio ja mRNA-aktiivisuus 4 h pyöräharjoituksen jälkeen.



Kuva 25. Yksittäisen 4h pyöräilyharjoituksen PDK4-geenin transkription (musta palkki) ja mRNA:n muutoksen (harmaa palkki) seurantaa 4 h harjoituksen jälkeen. 0' tarkoittaa välittömästi harjoituksen jälkeen. Nähdään, että esimerkiksi tämän kyseisen geenin (joka säätelee glykolyysia painottaen rasvametaboliaa) vaikutus kasvaa vielä neljännelle tunnille harjoituksen jälkeen. Tämä voi olla eräs syy miksi palautuksen aikana keho painottaa rasvan käyttöä. Kuva otettu (Pilegaard *et al.*, 2000).

Rotilla tehdyillä kokeilla on selvitetty, että harjoittelun pituus vaikuttaa eri tavalla myös hitaisiin ja nopeisiin lihassoluihin. Tutkimuksessa (Hildebrandt *et al.*, 2003) nähtiin kuinka lyhyt LIT (45 min @ 50 % VO_{2max}) nosti hitaissa lihassoluissa kestävyysadaptaatioihin liittyvien geenien transkriptioita, ja jonkin verran nopeissa lihassoluissa (katso kuva 26). Pidentämällä harjoitus 3 tuntiseksi jotkut hitaan lihassolun merkkigeenit aktivoituivat enemmän, ja erityisesti nopeiden lihassolujen merkkigeenit aktivoituvat moninkertaisiksi ja pidemmäksi aikaa. Intensiteetin kasvu (45 min @ 75 % VO_{2max}) vaikutti taas monin paikoin samalla tavalla kuin pitkä LIT-harjoitus. Myös esimerkiksi artikkelissa (Seiler & Tønnessen, 2009) (ja siinä taulukot 2 ja 3) huomautetaan, että intensiteetin kasvattaminen (HIT-harjoitus) ja harjoituksen pituuden kasvattaminen (pitkä LIT-harjoitus) tuovat osittain päällekkäisiä adaptaatioita. Tämä voi selittää geenitasolla miksi LIT ja HIT -harjoittelu *oikein tehtynä* (eli riittävän pitkä LIT-harjoittelu) antavat monissa tutkimuksissa yhteneviä vasteita. Toisaalta, kuten kuvasta 26 nähdään, joissain geeneissä pitkä LIT-harjoitus nostaa transkriptiota huomattavasti enemmän kuin intensiteetin nosto, tarkoittaen, että joissain tapauksissa harjoituksen pituuden nostaminen, mutta ei intensiteetin, voisi antaa eriäviä adaptaatioita.



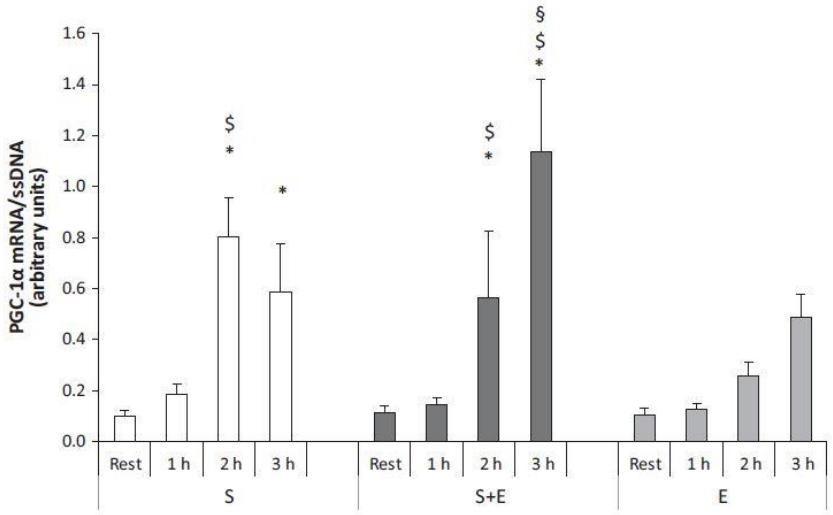
Kuva 26. Hiiren hidas (red) ja nopea (white) pohjelihas ja HO-1 geenin aktiivisuus lyhyen LIT (LIE 45'), pitkän LIT (LIE 180') tai MIT (HIE 45') -harjoittelun seurauksena. Nähdään, että HO-1:n tapauksessa

nopeassa lihassolussa pitkä LIT ja MIT vaikuttivat samalla tavalla, mutta hitaassa lihassolussa pitkä harjoitus nosti aktiivisuutta huomattavasti enemmän. Toisin sanoen, joissain kestävyyssuorituskykyä potentiaalisesti auttavissa geeneissä pitkien ja intensiivisten harjoitusten välillä on eroja. Kuva otettu (Hildebrandt *et al.*, 2003).

Mielenkiintoinen on myös artikkelin (Skovgaard *et al.*, 2016) havainto (ks. kuva 27). Siinä huomattiin, että yksittäinen SIT-harjoitus nosti kestävyysaiheisia markkereita, kuten mitokondrioiden biogeneesiä, angiogeneesiä, PGC-1α, jne. aktiivisuuksia, kun taas pelkkä 1h kestävyyssuoritus AerK-intensiteetin tasolla ei näitä juurikaan nostanut. Huomattavaa tutkimuksessa oli, että kun SIT-harjoittelua seurasi tunnin kestävyysharjoittelu (@AerK) oli vaikutus huomattavasti vielä suurempi. Toisin sanoen, LIT-harjoittelu ei välttämättä vaadikaan ajallisesti pidempää suoritusta, jotta harjoitus aiheuttaisi kehossa adaptaatioita. Ennemmin tehokas LIT-harjoittelu voisi vaatia alleen tietyn määrän väsymystä, ja tämä väsymys voidaan tuottaa muutenkin kuin tekemällä alle paljon LIT:iä, kuten tekemälle alle SIT-harjoittelu. Näinollen, aikarajoitteisella harjoittelijalla viikon pitkä LIT-harjoitus voisi yrittää korvata kovalla HIT-harjoittelulla, jonka jälkeen välittömästi tehtäisiin normaalin mittainen LIT-harjoitus.

Samalla periaatteella ajateltuna tyhjillä glykogeenivarastoilla tehty LIT-harjoitus tehoaisi nopeammin ja lyhyemmällä harjoitusajalla kuin täysillä varastoilla tehty LIT-harjoitus (ns. ravintoperiodisaatio, ks. Mujika *et al.*, 2018).

Edelleen, huomionarvoista on, että harjoittelu nostaa adaptaatioon tähtäävää entsyymitoimintaa viiveellä; kuten kuvasta 27 nähdään, välittömästi harjoittelun jälkeen ei entsyymitoiminta ole vielä koholla, mutta vasta 2-3h harjoituksesta. SIT-harjoittelun osalta tätä tukee myös (Little *et al.*, 2011). Niinpä voidaan esittää tällä hetkellä suhteellisen kuuma kysymys: kannattaako harjoituksesta yrittää palautua mahdollisimman nopeasti? Jos harjoituksen adaptaatiot alkavat näkyä potentiaalisesti vasta muutaman tunnin kuluttua harjoituksesta entsyymi-/geenitasolla, voiko välittömästi harjoituksen jälkeen aloitettu palautustoiminto (ravinto + kylmähoito + antioksidanttien syönti + päiväunet+ jne.) vaikuttaa niin, että tämän viivästyneen vasteen huippu onkin pienempi kuin mitä se olisi ollut ilman aktiivisia palautustoimia?

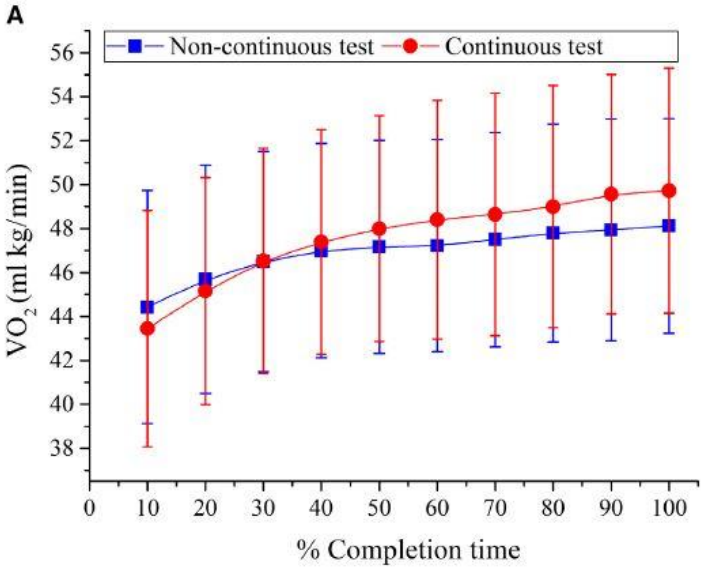


Kuva 27. Nopeuskestävyys (6 x 30sek), Nopeuskestävyys ja sitä seuraava kestävyys (60 min @~AerK) tai pelkkä kestävyysharjoittelu ja sen vaikutus PGC-1α -esiintyvyyteen. Nähdään, että pelkkä tunnin harjoitus aerobisella kynnyksellä ei vaikuta kovinkaan paljon aerobisen kunnon välittäjäaineen PGC-1α-esiintyvyyteen, kun taas nopeuskestävyysharjoittelulla on vaikutus, jota jälkeen tehty kestävyysharjoittelu vielä korostaa. Kuva: (Skovgaard *et al.*, 2016).

Palautuksen vaikutus

Kuten selvää on, palautuksen lisääminen harjoitukseen kasvattaa huomattavasti aikaa jota harjoittelija jaksaa intensiteettiä käyttää. Esimerkiksi juoksijoille määrättiin kriittinen nopeus, ja joko he juoksivat sitä vauhtia uupumiseen joko yhteen menoon (23 min) tai 4:1 -suhteella (37 min). Ero oli huomattava, ja jatkuvassa juoksussa metabolinen rasitus, hapenkulutus (kuva 28) ja RPE oli suurempi. fysiologisesti paljoakaan hyötyä jatkuvaan harjoitteluun verrattuna kriittisen nopeuden tienoilla.

Jotkut sanovat, että lepojaksolla 65 % VO_{2max} intensiteetti maksimoisi laktaatin poiston (Tschakert & Hofmann, 2013), mutta silloin jätetään huomioimatta, että palautumiseen vaikuttaa moni muukin asia. Esimerkiksi sprinttisuorituskyky, CrP:n uudelleenmuodostus ja lihaksen happisaturaatio ovat suuremmat jos lepojakso on ollut passiivinen. Niinpä pidempi lepojakso ja matalampi lepojakson intensiteetti antavat lihakselle aikaa palautua metabolisesti (Tschakert & Hofmann, 2013).

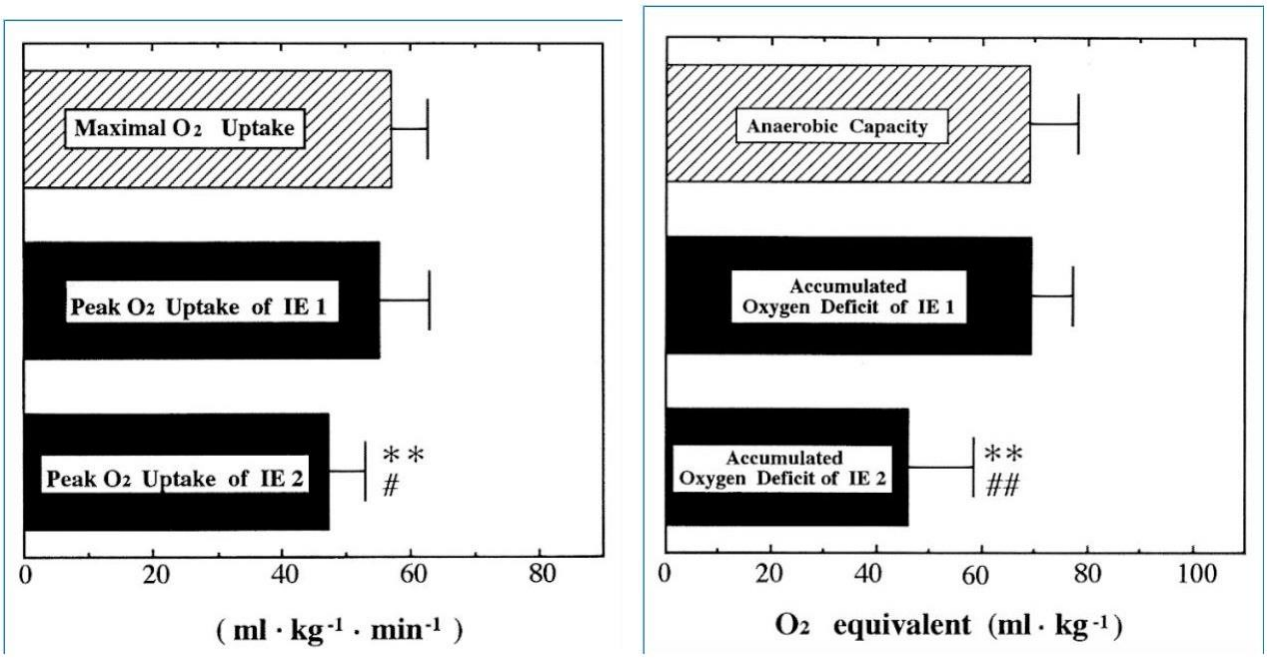


Kuva 28. Jatkuvan ja 4:1 -intervallina suoritettu juoksu kriittisellä nopeudella. Nähdään, että jatkuvassa tavassa hapenkulutus on hieman suurempaa. Kuva (Ali *et al.*, 2017).

Selvää on, että lyhyillä työintervalleilla palautuksen merkitys korostuu. Aiemmin jo huomattiin, että RST-harjoituksessa liian pitkät palautukset lyhyiden työintervallien välissä voi kokonaan tappaa kestävyyskunnon kehittymisen, kuten kävi tutkimuksessa (Tønnessen *et al.*, 2011), jossa 40m sprinttijuoksut eivät 90s toisto- ja 10 min sarjapalautuksin parantanut muuta kuin sprinttikykyä.[13] Toisekseen, artikkelissa (Shimoyama *et al.*, 2003) uimarit uivat 10 x 1 min 4 mM vauhdilla, joko 20 sekunnin tai 30 sekunnin palautuksella. Kun heidän aerobisen ja anaerobisen energiankulutuksen määrää uinnissa laskettiin, 20 sekunnin palautuksella aerobisen energian osuus oli 81 % ja 30 sekunnin palautuksella 67 %. Toisin sanottuna, lyhyissä palautuksissa jopa 10 sekunnin ero palautuksessa voi potentiaalisesti aiheuttaa selkeästi erilaiset energia-aineenvaihdunnan kuormitukset. Edelleen, Tabatan 20s @ 170 % PPO/10s rasittaa maksimaalisesti

[13] Toisaalta, puhtaan sprinttijuoksun on nähty parantavan kestävyyssuorituskykyä parantuneen taloudellisuuden ja lihasrekrytoinnin avulla.

aerobista ja anaerobista systeemiä, mutta 30s @ 200 % PPO/2min ei (katso kuva 29) (Tabata *et al.*, 1997).



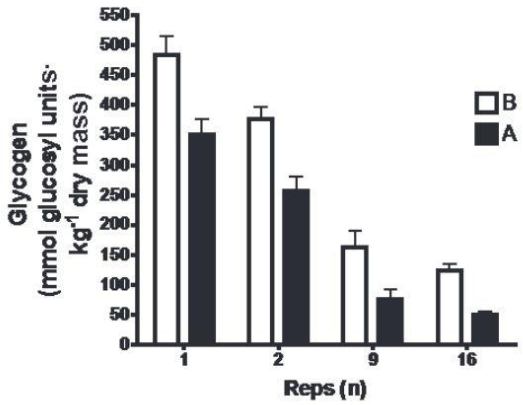
Kuva 29. IE1: 20s @ 170 % PPO/10s, IE2: 30s @ 200 % PPO/2min. IE1 rasittaa maksimaalisesti kehoa niin hapenkulutuksen kuin happivelan (anaerobisen kapasiteetin) osalta. IE2:ssa rasitus ei ole niin maksimaalista. Kuva: (Tabata *et al.*, 1997).

Verrataan aikaa lähellä VO_{2max}:ia (>90 %) kahdella intervalliharjoittelulla (Kuva 6 artikkelissa Buchheit & Laursen, 2013*a*):

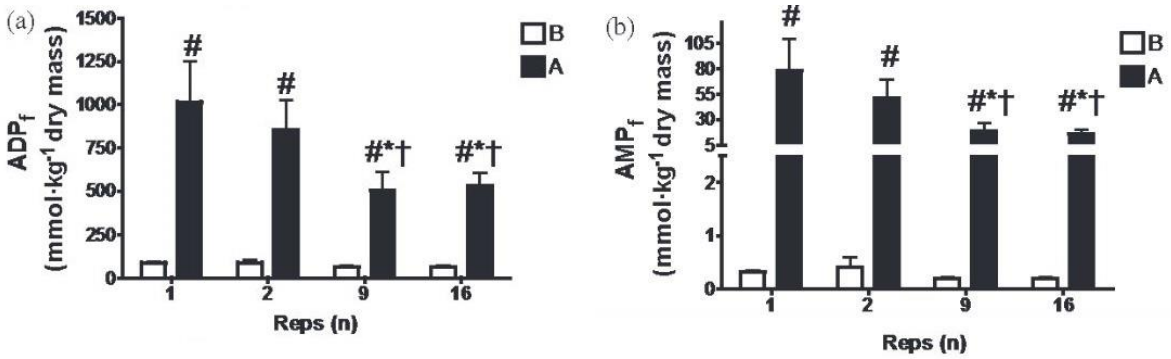
1. 5 x 3 min @ 90 %VO_{2max} /90 sek;
2. 5 x 5 min @ 92 % VO_{2max} / 2,5 min.

Siitäkin huolimatta, että jälkimmäisessä intervallissa kokonaistyöaikaa on 10 minuuttia enemmän (15 min vs. 25 min) ja intensiteetti korkeampi, on niissä kokonaisaika lähellä VO_{2max}:ia yhtä pitkä. Tämä johtuu siitä, että 2,5 minuutin palautuksella hapenkulutus ehtii laskea niin alas, ettei se ehdi nousemaan pitemmän vedon aikana pitkäksi aikaa korkealle. Harjoituksen tavoitteesta riippuen siis palautusaika voi vaikuttaa paljonkin.

Mielenkiintoisessa tutkimuksessa normaalit aktiiviset tutkittavat miehet (44 ml/kg/min) tekivät kerran tunnissa 6 minuutin suorituksen 91 % VO_{2max} intensiteetillä 16 tunnin ajan (Green *et al.*, 2007). He havaitsivat monia mielenkiintoisia seikkoja. Esimerkiksi hapenotto kasvoi joka vedolla. Lisäksi lihaksien glykogeenivarastojen tyhjentyminen tasaantui 9 vedon jälkeen (kuva 30). Edelleen, rasituksen kasvaessa fosfokreatiinin määrä kasvoi. Toisin sanottuna, hapenkulutus kasvaa, ja lihakset turvautuvat vähemmän anaerobiseen energiantuottoon, mikä näkyy myös ATP:n ja AMP:n määrässä (kuva 31).



Kuva 30. Kerran tunnissa 6 min @ 91 % VO_{2max}. Lihasten glykogeenivarastot ennen (B) vetoa ja vedon jälkeen (A). Yhdeksän vedon jälkeen tilanne on jotakuinkin tasaantunut. Kuva: (Green *et al.*, 2007).



Kuva 31. ADP ja AMP:n määrä intervalliharjoittelussa ennen (B) ja jälkeen (A) vedon, jossa kerran tunnissa tehdään 6 min @ 91 % VO_{2max}. Nähdään, että vaikka ADP:n ja AMP:n määrät kasvavat vedon aikana, mutta vähenevissä määrin. Samaten kuin lihasten glykogeenivarastojen kanssa, tilanne tasaantuu yhdeksännen vedon jälkeen. Kuva: (Green *et al.*, 2007).

Hyvänä kysymyksenä palautuksista on myös onko passiivinen vai aktiivinen parempi? Aktiivinen olisi loogisempi (Laursen & Jenkins, 2002*a*), koska sen ajatellaan auttavan kuona-aineiden poistamisessa ja pitävän yllä paremmin hapenkulutusta, jotta seuraavaan työintervalliin lähdettäessä tavoitehapenkulutus saavutettaisiin nopeammin.

Yleisesti ottaen, palautuksessa on tietty raja-arvo, jonka jälkeen palautuksen pidentämisellä ei ole juurikaan vaikutusta suoritukseen. Esimerkiksi juoksussa 10 x 400m @ 96 % vVO_{2max} 1,2 ja 3 minuutin palautuksilla ei 2 ja 3 minuutin palautukset tuoneet eroja keskenään (Zavorsky *et al.*, 1998). Edelleen, toisessa tutkimuksessa 6 x 4 min tehtiin maksimikeskinopeudella joko 1, 2, 4 tai vapaavalintaisella palautuksella. Tällöinkin 1 minuutin palautuksella keskinopeus oli matalampi, mutta muuten 2 – 4 minuutin palautuksilla ei ollut suurtakaan vaikutusta loppunopeuksiin tai RPE-arvoihin tai hapenkulutuksiin. Kuriositeettina mainittakoon, että juoksijoiden itse valitsema palautusaika oli keskiarvoisesti noin 2 minuuttia (± 23 sek).

Tämä voidaan tulkita kahdellakin tapaa. Ensinnäkin, lyhyetkin palautukset riittävät hyvin, joten lepointervalleja ei tarvitse lähteä nostamaan liian pitkiksi pitkissäkään-HIT-harjoituksissa. Toisaalta se, että 2 – 4 minuutin lepointervallit antavat käytännössä yhtenevät akuutit vasteet, tarkoittaa, ettei lepointervalleja aina tarvitse olla tarkkaan kellon kanssa mittaamassa, vaan työintervallin teho on usein tärkeämpi. Käytännön huomiona on myös kuultu, että riittävän lyhyet

palautukset saattavat motivoida pitämään tehointervallin intensiteetin riittävän matalalla, koska muuten ei urheilija yksinkertaisesti pysty suorittamaan annettuja toistomääriä.

Sinänsä intervalliharjoittelussa työjaksojen intensiteetit suhteutuvat hyvinkin tarkkaan omaan kuntotasoon. On huomattu, että 5000m juoksuaika korreloi hyvin vahvasti kolmen eri maksimaalisella vauhdilla tehdyn interalliharjoittelun kanssa: 12 x 400m/15s; 6 x 800m/30s; ja 3 x 1600m/60s, korrelaatioiden ollessa 0.9 – 0.95 (Babineau & Léger, 1997). Huomautettakoon, että korrelaatio maksimaalisen hapenoton kanssa oli selkeästi pienempää (r=0.84). Kaikki tämä tukee käsitystä, että intervalliharjoittelussa intensiteetti voi olla hyvä valita toteutuneen kilpailuvauhdin mukaan ennemmin kuin porrastestin VO_{2max}-vauhdin mukaan. Uudempi lähestyminen tähän on kriittisen tehon/nopeuden käyttäminen harjoittelun apuna. Käytännössä kriittisen intensiteetin käyrässä piirretään käyrä, josta voidaan ennustaa yksilön jokaiselle intensiteetille aika, jota tuota intensiteettiä pystytään ylläpitämään. Lisäksi olennaisena osana kriittistä intensiteettiä on anaerobinen kapasiteetti, jonka voidaan nähdä kertovan kauanko yksilö kykenee toimimaan kynnyksen yläpuolella. Kriittisen intensiteetin käyttö on liian suuri kokonaisuus tähän lisättynä. Tommi Martikainen kertoo kirjassaan (Martikainen, 2018) jonkin verran kriittisen tehon käytöstä pyöräilyssä.

10. Harjoittelujakauma

Harjoittelujakaumalla tarkoitetaan toteutunutta harjoittelua LIT/MIT/HIT-alueilla. Ongelmana on, että miten muodostetaan tuo harjoittelujakauma LIT/MIT/HIT. Pelkkää sykettä käyttäen ongelmaksi tulee sykkeen hidas nouseminen harjoitusta vaativalle tasolle HIT-harjoittelussa. Käytännössä tämä aiheuttaa sen, että harjoittelu näyttäisi pyramidiharjoittelulta, vaikka se olisi polarisoitua. Parempaa olisikin juoksussa vauhtien rekisteröiminen tai pyöräilyssä tehojen. Myös vedon tavoitesykettä voi käyttää (Sylta *et al.*, 2014), mutta se on hieman vaivalloisempi keino, koska se täytyy käsin kirjata. Eräs helppo tapa on jakaa harjoitus yhteen lokeroon: LIT tai MIT tai HIT. Tällöin vuoden harjoittelujakauma on yksinkertaisesti LIT/MIT/HIT-harjoitusten lukumäärien suhde.

On uskomus, että eliittiurheilijoilla harjoittelu mukautuu evolutiivisen prosessin kautta optimaaliseksi, koska he kokeilevat uusia tapoja harjoitella ja pitäytyvät toimivissa tavoissa (Seiler & Tønnessen, 2009). Siksipä ajatellaan esimerkiksi, että optimaalisessa kestävyysharjoitusohjelmassa LIT-harjoittelun osuus on vähintään 75 %.

Eräs ajatus olisi, että suuri LIT-harjoittelumäärä maksimoisi perifeeriset adaptaatiot ja pieni määrä HIT-harjoittelua sen päälle täyttäisi tarvittavat adaptaatiot sydämen toiminnalle ja bufferointikykyyn liittyen. Lisäksi argumenttina on, että suuri LIT-määrä parantaisi taloudellisuutta, koska näin motorisia toistoja tulee huomattavasti suurempi määrä kuin HIT-harjoittelulla. Ja edelleen, LIT-harjoittelun ajatellaan auttavan palautumisessa ja aiheuttavan vähemmän stressiä kuin HIT-harjoittelu. (Seiler & Tønnessen, 2009).

Näyttäisi olevan selvää, että suuri LIT-painotus on hyvä (Seiler & Tønnessen, 2009), mutta kuinka suuri on hieman myös yksilöllistä. Esimerkiksi (Gaskill *et al.*, 1999) tekivät tutkimuksen, jossa 14:llä tutkittavalla oli harjoitusohjelmassa 14 % osoitettu MIT/HIT -harjoittelulle ensimmäisenä vuotena. Näistä 7 kuului hyvän vasteen -ryhmään, jolle harjoittelu tuotti hyvin tulosta, ja sitä jatkettiin heillä vielä toinenkin vuosi. Sen sijaan seitsemälle tutkittavalle vaste oli huono, ja heillä harjoittelua intensifoitiin huomattavasti ja nostettiin MIT/HIT-harjoittelun osuus tasolle 35 %. Tämä periodisoinnin muutos auttoi heille parempia tuloksia. Käytännössä siis toiset vaativat enemmän intensiivistä harjoittelua kuin toiset jotta kehitys ei pysähtyisi, eikä aivan tarkkoja LIT/MIT/HIT-jakaumia pystytäkään sitä varten antamaan.

Suuri ongelma harjoittelussa, etenkin harrastelijoilla, on keskialueen MIT-harjoittelun liian suuri painotus (Seiler & Tønnessen, 2009). Käytännössä tämä on useimmiten seurasta liian kovista LIT-harjoituksista.

11. Harjoittelutiheys

Eräs varteenotettava kysymys on kuinka usein harjoittelua tulisi tehdä. Esimerkiksi juosten tehtävä 30 sekunnin SIT-harjoitteluprotokolla parantaa kestävyyskuntoa (Bangsbo *et al.*, 2009), kun harjoituksia tehdään 2 – 3 kertaa viikossa ja riittävä palautuminen taataan. Toisaalta, hyvin harjoitelluilla jalkapalloilijoille kerran viikossa muun harjoittelun ohessa tehtynä tämä ei ollut

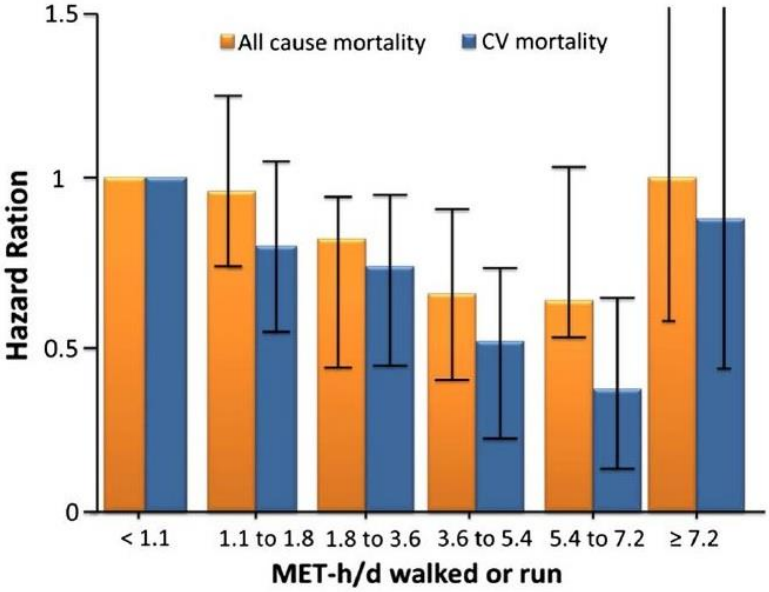
riittävä selkeisiin kunnon parannuksiin (Gunnarsson *et al.*, 2012). Näin ollen riittävä tiheys harjoitteluun olisi saatava. Toisaalta, 30 sekunnin SIT-harjoittelu tuotti aktiivisille miehille yhtä hyvät suorituskykyparannukset, tehtiin ne kahdesti päivässä tai kerran päivässä kun kokonaismäärä pysyi samana (Ijichi *et al.*, 2015).

Olennaista ei ole ainoastaan montako kovaa harjoitusta kuukauteen saa mahtumaan, vaan myös kuinka hyvin kehon antaa niistä palautua. Sykevälivaihteluun perustuva palautustutkimukset ovat osoittaneet, että suorituskyky nousee jopa enemmän (Vesterinen *et al.*, 2016) tai vähintään yhtä paljon (Nuuttila *et al.*, 2017), jos kovista harjoituksista tai harjoitusblokeista malttaa palautua riittävästi.

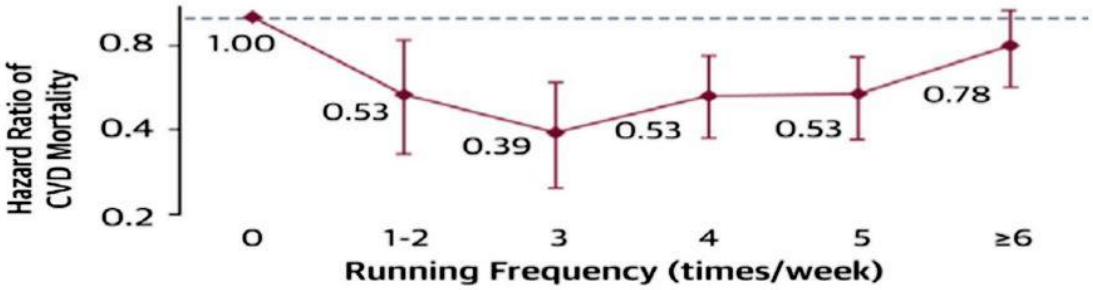
HIT-harjoittelu 2 tai 4 kertaa viikossa tehtynä ei tuonut eroja 13 viikon aikana maksimaaliseen hapenottokykyyn, mutta submaksimaalinen syke laski enemmän tiheään harjoittelevilla ollen merkkinä pienemmästä verenkiertoelimistön stressistä (Fox *et al.*, 1975). Edelleen, kun vertailtiin 1 tai 3 HIT-harjoittelua viikossa, muuten tutkittavat tekivät LIT/MIT-harjoittelua, todettiin, että fysiologiset tulokset olivat yhtä hyviä, mutta 3 HIT/vko tuotti suuremman psykologisen stressin (Billat *et al.*, 1999). Niinpä yleisellä tasolla näyttäisi, että klassista periodisaatiota käyttäen 1 – 2 HIT-sessiota viikossa olisi optimaalisin. Tutkimukset osoittavat lisäksi suhteellisen selkeästi sen, että jonkinlaista HIT-harjoittelua tulisi olla harjoitussuunnitelmassa mukana, jotta suorituskyky saataisiin optimoitua (Seiler & Tønnessen, 2009).

Kestävyyskunto on suhteellisen helppoa ylläpitää muutamia viikkoja. Jos alla on hyvää harjoittelua pitemmän aikaa, niin hyvätkin kestävyysurheilijat voivat vähentää kolmeksi viikoksi 70 % harjoitteluaan pitäen harjoittelujakauman samana ilman että harjoittelun vähennys näkyy vielä suorituskyvyssä (Houmard *et al.*, 1990).

Jos asiaa tarkastelee ihan vain terveyden kannalta, kuten kuolleisuuden, niin maltillinen määrä harjoittelua voisi olla paras (kuvat 32 ja 33). Edelleen, väestötasolla näyttäisi, että hölkkäilijöillä kuolemanriski olisi pienempi kuin kovaa juoksevilla (>12kmh nopeulla juoksevat). (O'Keefe *et al.*, 2015). Ultrajuoksukilpailu (4500 km) laski harmaata aivomäärän tilavuutta 6 %, mikä palautui 8 kk päästä (O'Keefe *et al.*, 2015).



Kuva 32. Kuoleman riski laskee liikunnan määrän lisääntyessä. Kuitenkin, paljon liikkuvilla kuoleman riski alkaa taas nousta. 7.2 METh/d tarkoittaa noin 45 km juoksumäärää viikossa. Kuva: (O'Keefe *et al.*, 2015).



Kuva 33. Kuoleman riski laskee liikuntakertojen lisääntyessä. Kuitenkin, paljon liikkuvilla kuolemanriski näyttäisi alkavan taas nousta. Kuva: (O'Keefe *et al.*, 2015).

12. Painon tiputtaminen

Yleisenä uskomuksena liikunta helpottaa painon kontrollia. Yllättäen, pelkästään kestävyyskuntoilua lisäämällä ei painoon kuitenkaan saada ryhmätasolla paljoakaan muutosta, etenkään jos kyseessä on vain lievä ylipaino. Meta-analyysin mukaan pitkäkään (> 12 viikkoa) HIT-interventio ei juuri tiputa painoa (Batacan *et al.*, 2017). Tyypillistä sedentaareille ihmisille on, että 3-4 kk interventiossa paino laskee keskimäärin maksimissaan noin 1-1.5 kg (Gaesser & Rich, 1984). Edelleen, esimerkiksi tutkimuksessa (Thomas *et al.*, 1985) paino tippui 1 kg vuoden aikana. Poikkeuksiakin on, kuten (Chiu *et al.*, 2017), jossa kolmella viikkotunnilla liikuntaa painoa saatiin ylipainoisilta miehiltä laskemaan 5-7 kg.

Yhtä suuren energiankulutuksen vaativat LIT ja MIT-harjoittelut eivät näyttäisi vaikuttavan 24 tunnin energiankäyttäjakaumaan (rasva/hiilihydraatti) (Melanson *et al.*, 2002).

13. Lähteet

Acevedo EO & Goldfarb AH (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. *Med Sci Sport Exerc* **21,** 563–568.

Ali MJ, Govindasamay B, Hiang HK & Gim GSL (2017). Physiological differences between a noncontinuous and a continuous endurance training protocol in recreational runners and metabolic demand prediction. *Physiol Rep*; DOI: 10.14814/phy2.13546.

Andreato L V (2019). The influence of high-intensity interval training on anthropometric variables of adults with overweight or obesity : a systematic review and network meta- analysis *. *Obes Rev* **20,** 142–155.

Andreato LV (2018). Comment on : ‘“ Effect of High-Intensity Interval Training on Total , Abdominal and Visceral Fat Mass : A Meta-Analysis .”’ *Sport Med* **48,** 2413–2415.

Åstrand I, Åstrand P -O, Christensen EH & Hedman R (1960). Intermittent Muscular Work. *Acta Physiol Scand* **48,** 448–453.

Babineau C & Léger L (1997). Physiological response of 5/1 intermittent aerobic exercise and its relationship to 5 km endurance performance. *Int J Sports Med* **18,** 13–19.

Bacon AP, Carter RE, Ogle EA & Joyner MJ (2013). VO2max Trainability and High Intensity Interval Training in Humans: A Meta-Analysis. *PLoS One*; DOI: 10.1371/journal.pone.0073182.

Bangsbo J (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* **30,** 47–52.

Bangsbo J, Gunnarsson TP, Wendell J, Nybo L & Thomassen M (2009). Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na-K pump alpha2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *J Appl Physiol* **107,** 1771–1780.

Batacan RB, Duncan MJ, Dalbo VJ, Tucker PS & Fenning AS (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *Br J Sports Med* **51,** 494–503.

Beattie K (2015). Pre-season strength training in distance runners. at 16th International Symposium. Combined Enduranc.

Bickham DC, Bentley DJ, Le Rossignol PF & Cameron-Smith D (2006). The effects of short-term sprint training on MCT expression in moderately endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol* **96,** 636–643.

Billat V, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, Faccini P, de Angelis M, Koralsztein JP & Dalmonte A (1996). A comparison of time to exhaustion at VO2 max in élite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics* **39,** 267–277.

Billat V, Petot H, Karp JR, Sarre G, Morton RH & Mille-Hamard L (2013). The sustainability of VO2max: Effect of decreasing the workload. *Eur J Appl Physiol* **113,** 385–394.

Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B & Koralsztein JP (1994). Times to exhaustion at 100% of velocity at VO2max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur J Appl Physiol* **69,** 271–273.

Billat VL, Bocquet V & Demarle A (2000). Intermittent runs at the velocity associated with

maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol* **81,** 188–196.

Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M & Koralsztein JP (2001*a*). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* **33,** 2089–2097.

Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G & Koralsztein JP (1999). Interval training at VO2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. / L'entrainement par intervalles a VO2 max: effets sur la performance aerobie et les marqueurs du surentrainement. *Med Sci Sport Exerc* **31,** 156–163.

Billat VL, Slawinksi J, Bocquet V, Chassaing P, Demarle A & Koralsztein JP (2001*b*). Very Short (15 s - 15 s) Interval-Training Around the Critical Velocity Ç O 2 max for 14 minutes Allows Middle-Aged Runners to Maintain V. *Int J Sports Med* **22,** 201–208.

Black MI, Jones AM, Blackwell JR, Bailey SJ, Wylie LJ, McDonagh STJ, Thompson C, Kelly J, Sumners P, Mileva KN, Bowtell JL & Vanhatalo A (2017). Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. *J Appl Physiol* **122,** 446–459.

Bonne TC, Doucende G, Fluck D, Jacobs RA, Nordsborg NB, Robach P, Walther G & Lundby C (2014). Phlebotomy eliminates the maximal cardiac output response to six weeks of exercise training. *AJP Regul Integr Comp Physiol* **306,** R752–R760.

Bosquet L, Léger L & Legros P (2002). Methods to determine aerobic endurance. *Sport Med* **32,** 675–700.

Buchheit M & Laursen PB (2013*a*). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sport Med* **43,** 313–338.

Buchheit M & Laursen PB (2013*b*). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sport Med* **43,** 927–954.

Buchheit M, Mendez-villanueva A, Quod M, Quesnel T & Ahmaidi S (2010). Improving Acceleration and Repeated Sprint Ability in Well-Trained Adolescent Handball Players : Speed Versus Sprint Interval Training. *Int J Sports Physiol Perform* **5,** 152–164.

Burgomaster KA (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol* **100,** 2041–2047.

Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, MacDonald MJ, McGee SL & Gibala MJ (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* **586,** 151–160.

Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJF, Bradwell SN & Gibala MJ (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* **98,** 1985–1990.

Burnley M & Jones AM (2018). Power–duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. *Eur J Sport Sci* **18,** 1–12.

Carter H, Jones AM & Doust JH (1999). Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *J Sports Sci* **17,** 957–967.

Chiu CH, Ko MC, Wu LS, Yeh DP, Kan NW, Lee PF, Hsieh JW, Tseng CY & Ho CC (2017).

Benefits of different intensity of aerobic exercise in modulating body composition among obese young adults: A pilot randomized controlled trial. *Health Qual Life Outcomes* **15,** 1–9.

Cipryan L, Tschakert G & Hofmann P (2017). Acute and Post-Exercise Physiological Responses to High-Intensity Interval Training in Endurance and Sprint Athletes. *J Sport Sci Med* **16,** 219–229.

Clark B, Costa VP, O'Brien BJ, Guglielmo LG & Paton CD (2014). Effects of a seven day overload-period of high-intensity training on performance and physiology of competitive cyclists. *PLoS One* **9,** 1–14.

Coen B, Urhausen A & Kindermann W (2001). Individual anaerobic threshold: Methodological aspects of its assessment in running. *Int J Sports Med* **22,** 8–16.

Coggan AR, Kohrt WM, Spina RJ, Bier DM & Holloszy JO (1990). Endurance training decreases plasma glucose turnover and oxidation during moderate-intensity exercise in men. *J Appl Physiol* **68,** 990–996.

Conley DL & Krahenbuhl GS (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc* **12,** 357–360.

Costill D, Flynn M, Kirwan J, Houmard J, Mitchell J, Thomas R & Park S (1988). Effects of Intensified Training on Glycogen and Swimming Performance. *Med Sci Sports Exerc* **20,** 249–254.

Creer A, Ricard M, Conlee R, Hoyt G & Parcell A (2004). Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med* **25,** 92–98 7p.

Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, Piquard F & Richard R (2007). Improvement of VO2max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* **101,** 377–383.

Davis JA, Frank MH, Whipp BJ & Wasserman K (1979). Anaerobic threshold alterations caused by training in middle-aged men. *J Appl Physiol* **46,** 1039–1046.

Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M & Cole K (1998). Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol* **78,** 163–169.

Denadai BS, Ortiz MJ, Greco CC & de Mello MT (2006). Interval training at 95% and 100% of the velocity at $V\mathrm{O}_{2\,\max}$: effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab* **31,** 737–743.

Denis C, Fouquet R, Poty P, Geyssant A & Lacour JR (1982). Effect of 40 weeks of Endurance Training on the Anaerobic Threshold. *Int J Sports Med* **3,** 208–214.

Depiazzi JE, Forbes RA, Gibson N, Smith NL, Wilson AC, Boyd RN & Hill K (2019). The effect of aquatic high-intensity interval training on aerobic performance , strength and body composition in a non-athletic population : systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* **33,** 157–170.

Dolgener FA, Kolkhorst FW & Whitsett DA (1994). Long slow distance training in novice marathoners. *Res Q Exerc Sport* **65,** 339–346.

Draper SB & Wood DM (2005). The oxygen uptake response of sprint- vs. endurance trained runners to severe intensity running. *J Sci Med Sport* **8,** 233–243.

Duncan GE, Anton SD, Sydeman SJ, R.L. Newton Jr., Corsica JA, Durning PE, Ketterson TU, Martin AD & Limacher MC (2005). Prescribing exercise at varied levels of intensity and frequency: A randomized trial. *Arch Intern Med* **165,** 2362–2369.

Edge J, Bishop D & Goodman C (2006). The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol* **96,** 97–105.

Eigendorf J, May M, Friedrich J, Engeli S, Maassen N, Gros G & Meissner JD (2018). High intensity high volume interval training improves endurance performance and induces a nearly complete slow-to-fast fiber transformation on the mRNA level. *Front Physiol*; DOI: 10.3389/fphys.2018.00601.

Enoksen E, Shalfawi S a I & Tønnessen E (2011*a*). The effect of high- vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. *J Strength Cond Res* **25,** 812–818.

Enoksen E, Tjelta AR & Tjelta LI (2011*b*). Distribution of Training Volume and Intensity of Elite Male and Female Track and Marathon Runners. *Int J Sports Sci Coach* **6,** 273–293.

Esfarjani F & Laursen PB (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on over(V, ̇) O2 max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* **10,** 27–35.

Essén B, Hagenfeldt L & Kaijser L (1977). Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol* **265,** 489–506.

Evertsen F, Medbø JI, Jebens E & Gjøvaag TF (1999). Effect of training on the activity of five muscle enzymes studied on elite cross-country skiers. *Acta Physiol Scand* **167,** 247–257.

Faude O, Hecksteden A, Hammes D, Schumacher F, Besenius E, Sperlich B & Meyer T (2017). Reliability of time-to-exhaustion and selected psycho-physiological variables during constant-load cycling at the maximal lactate steady-state. *Appl Physiol Nutr Metab* **42,** 142–147.

Faude O, Kindermann W & Meyer T (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sport Med* **39,** 469–490.

Fereshtian S, Sheykhlouvand M, Forbes S, Agha-Alinejad H & Gharaat M (2017). Physiological and performance responses to high-intensity interval training in female inline speed skaters. *Apunt Med l'Esport* **52,** 131–138.

Fiskerstrand Å & Seiler KS (2004). Training and performance characteristics among Norwegian International Rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sport* **14,** 303–310.

Fontana P, Betschon K, Boutellier U & Toigo M (2011). Cardiac output but not stroke volume is similar in a Wingate and V̇O 2peak test in young men. *Eur J Appl Physiol* **111,** 155–158.

Foster C, Farl C V., Guidotti F, Harbin M, Roberts B, Schuette J, Tuuri A, Doberstein ST & Porcari JP (2015). The effects of high intensity interval training vs steady state training on aerobic and anaerobic capacity. *J Sport Sci Med* **14,** 747–755.

Fournier M, Ricci J, Taylor AW, Ferguson RJ, Montpetit RR & Chaitman BR (1982). Skeletal muscle adaptation in adolescent boys: Sprint and endurance training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* **14,** 453–456.

Fox EL, Bartels RL, Billings CE, O'Brien R, Bason R & Mathews DK (1975). Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *J Appl Physiol* **38,** 481–484.

Gaesser GA, Poole DC & Gardner BP (1984). Dissociation between VO2max and VT responses to endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **53,** 242–247.

Gaesser GA & Rich RG (1984). Effects of high- and low-intensity exercise training on aerobic capacity and blood lipids. *Med Sci Sports Exerc* **16,** 269–274.

Gaskill SE, Serfass RC, Bacharach DW & Kelly JM (1999). Responses to training in cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* **31,** 1211–1217.

Gibala MJ (2015). Physiological adaptations to low-volume high-intensity training. *Sport Sci Exch* **28,** 1–6.

Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S & Tarnopolsky MA (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* **575,** 901–911.

Gillen JB, Martin BJ, MacInnis MJ, Skelly LE, Tarnopolsky MA & Gibala MJ (2016). Twelve weeks of sprint interval training improves indices of cardiometabolic health similar to traditional endurance training despite a five-fold lower exercise volume and time commitment. *PLoS One* **11,** 1–14.

Gillen JB, Percival ME, Skelly LE, Martin BJ, Tan RB, Tarnopolsky MA & Gibala MJ (2014). Three minutes of all-out intermittent exercise per week increases skeletal muscle oxidative capacity and improves cardiometabolic health. *PLoS One* **9,** 1–9.

Gist NH, Fedewa M V., Dishman RK & Cureton KJ (2014). Sprint interval training effects on aerobic capacity: A systematic review and meta-analysis. *Sport Med* **44,** 269–279.

Gossard D, Haskell WL, Taylor CB, Mueller JK, Rogers F, Chandler M, Ahn DK, Miller NH & DeBusk RF (1986). Effects of low- and high-intensity home-based exercise training on functional capacity in healthy middle-aged men. *Am J Cardiol* **57,** 446–449.

Green HJ, Duhamel TA, Holloway GP, Moule JW, Ouyang J, Ranney D & Tupling AR (2007). Muscle Na+-K+-ATPase response during 16 h of heavy intermittent cycle exercise. *AJP Endocrinol Metab* **293,** E523–E530.

Gunnarsson TP, Christensen PMø, Holse K, Christiansen D & Bangsbo J (2012). Effect of additional speed endurance training on performance and muscle adaptations. *Med Sci Sports Exerc* **44,** 1942–1948.

Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, Busschaert B, Gleeson M, Jones DA & Jeukendrup AE (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol* **93,** 947–956.

Hardcastle SJ, Ray H, Beale L & Hagger MS (2014). Why sprint interval training is inappropriate for a largely sedentary population. **5,** 2013–2015.

Hazell TJ, MacPherson REK, Gravelle BMR & Lemon PWR (2010). 10 or 30-S Sprint Interval Training Bouts Enhance Both Aerobic and Anaerobic Performance. *Eur J Appl Physiol* **110,** 153–160.

Heiskanen M (2019). Riittääkö tehotreeni? *Duodecim*111–113.

Helgerud J, Engen LC, Wisløff U & Hoff J (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* **33,** 1925–1931.

Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth

N, Bach R & Hoff J (2007*a*). Aerobic high-intensity intervals improve V̇O2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* **39,** 665–671.

Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R & Hoff J (2007*b*). Aerobic high-intensity intervals improve V̇O2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*; DOI: 10.1249/mss.0b013e3180304570.

Henriksson J (2000). Cellular Metabolism and Endurance. In *Endurance in Sport*, 2., ed. Shepard RJ & Åstrand P-O. Blackwell Science.

Hickson RC, Bomze H a & Holloszy JO (1977). Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol* **42,** 372–376.

Hildebrandt AL, Pilegaard H & Neufer PD (2003). Differential transcriptional activation of select metabolic genes in response to variations in exercise intensity and duration. *Am J Physiol Metab* **285,** E1021–E1027.

Hill DW & Rowell AL (1997). Responses to exercise at the velocity associated with VO2max. *Med Sci Sport Exerc* **29,** 113–116.

Hintzy F, Mourot F, Perrey S & Tordi N (2005). Effect of endurance training on different mechanical efficiency indices during submaximal cycling in subjects unaccustomed to cycling. *Can J Appl Physiol* **30,** 520–528.

Hofmann P & Tschakert G (2017). Intensity- and duration-based options to regulate endurance training. *Front Physiol* **8,** 1–9.

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.

Hydren JR & Cohen BS (2015). Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *J Strength Cond Res* **29,** 3523–3530.

Iaia FM & Bangsbo J (2010). Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scand J Med Sci Sport* **20,** 11–23.

Iaia FM, Fiorenza M, Larghi L, Alberti G, Millet GP & Girard O (2017). Short-or long-rest intervals during repeatedsprint training in soccer? *PLoS One* **12,** 1–15.

Iaia FM, Thomassen M, Kolding H, Gunnarsson T, Wendell J, Rostgaard T, Nordsborg N, Krustrup P, Nybo L, Hellsten Y & Bangsbo J (2008). Reduced volume but increased training intensity elevates muscle Na-K pump alpha1-subunit and NHE1 expression as well as short-term work capacity in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **294,** R966–R974.

Iannetta D, Inglis EC, Fullerton C, Passfield L & Murias JM (2018). Metabolic and performance-related consequences of exercising at and slightly above MLSS. *Scand J Med Sci Sport*2–5.

Ijichi T, Hasegawa Y, Morishima T, Kurihara T, Hamaoka T & Goto K (2015). Effect of sprint training: Training once daily versus twice every second day. *Eur J Sport Sci* **15,** 143–150.

Inoue A, Impellizzeri FM, Pires FO, Pompeu FAMS, Deslandes AC & Santos TM (2016). Effects of sprint versus high-intensity aerobic interval training on cross-country mountain biking performance: A randomized controlled trial. *PLoS One* **11,** 1–14.

Islam H, Townsend LK & Hazell JT (2017). Modified sprint interval training protocols. Part I. Physiological responses. *Appl Physiol Nutr Metab* **42,** 339–346.

Jameson J & Vickers RRJ (2010). Best Practices in the Design of Aerobic Training Programs. *Nav Heal Res Cent Doc*; DOI: 10.1002/9780470649367.ch28.

Jenkins EM, Nairn LN, Skelly LE, Little JP & Gibala MJ (2019). Do Stair Climbing Exercise "Snacks" Improve Cardiorespiratory Fitness? *Appl Physiol Nutr Metab*1–14.

Jolesz F & Sreter FA (1981). Development, Innervation, and Activity-Pattern Induced Changes in Skeletal Muscle. *Annu Rev Physiol* **43,** 531–552.

Jones AM & Carter H (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sport Med* **29,** 373–386.

Katz A, Sharp RL, King DS, Costill DL & Fink WJ (1984). Effect of high intensity interval training on 2,3-diphosphoglycerate at rest and after maximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **52,** 331–335.

Kenney WL, Wilmore JH & Costill DL (2015). *Physiology of Sport and Exercise*, 6. Human Kinetics.

Khammassi M, Ouerghi N, Said M, Feki M, Khammassi Y, Pereira B, Thivel D & Bouassida A (2018). Continuous moderate- intensity but not high-intensity interval training improves immune function biomarkers in healthy young men. *J Strength Cond Res*.

Kilen A, Larsson TH, Jørgensen M, Johansen L, Jørgensen S & Nordsborg NB (2014). Effects of 12 weeks high-intensity & reduced-volume training in elite athletes. *PLoS One*; DOI: 10.1371/journal.pone.0095025.

Kivistö S, Perhonen M, Holmström' M & Lauerma K (2006). Assessment of the effect of endurance training on left ventricular relaxation with magnetic resonance imaging. *Scand J Med Sci Sport* **16,** 321–328.

Koral J, Oranchuk DJ, Herrera R & Millet GY (2018). Six sessions of sprint interval training improves running performance in trained athletes. *J Strength Cond Res* **32,** 617–623.

Kraus WE, Houmard J a, Duscha BD, Knetzger KJ, Wharton MB, McCartney JS, Bales CW, Henes S, Samsa GP, Otvos JD, Kulkarni KR & Slentz C a (2002). Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoproteins. *N Engl J Med* **347,** 1483–1492.

Krustrup P, Hellsten Y & Bangsbo J (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *J Physiol* **559,** 335–345.

Kubukeli ZN, Noakes TD & Dennis SC (2002). Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sport Med* **32,** 489–509.

Lakka TA (2006). Liikunnan terveys- vaikutukset riippuvat myös geeneistä. *Duodecim* **122,** 2939–2941.

Laursen PB (2010). Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sport* **20,** 1–10.

Laursen PB, Blanchard MA & Jenkins DG (2002). Acute High-Intensity Interval Training Improves T_{vent} and Peak Power Output in Highly Trained Males. *Can J Appl Physiol* **27,** 336–348.

Laursen PB & Jenkins DG (2002*a*). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training. *Sport Med* **32,** 53–73.

Laursen PB & Jenkins DG (2002*b*). The scientific basis for high intensity interval training - optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sport Med* **32,** 52–73.

Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS & Jenkins DG (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* **19,** 527–533.

Lay BS, Sparrow WA, Hughes KM & O'Dwyer NJ (2002). Practice effects on coordination and control, metabolic energy expenditure, and muscle activation. *Hum Mov Sci* **21,** 807–830.

Lee M-G, Park K-S, Kim D-U, Choi S-M & Kim H-J (2012). Effects of high-intensity exercise training on body composition, abdominal fat loss, and cardiorespiratory fitness in middle-aged Korean females. *Appl Physiol Nutr Metab* **37,** 1019–1027.

Li M, Chen H & Chen C (2018). Comment on : '" Effect of High-Intensity Interval Training on Total , Abdominal and Visceral Fat Mass : A Meta-Analysis ."' *Sport Med* **48,** 1513–1514.

Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geyssant A & Lacour JR (1993). Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **67,** 408–414.

Little JP, Safdar A, Bishop D, Tarnopolsky MA & Gibala MJ (2011). An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **300,** R1303–R1310.

Little JP, Safdar A, Wilkin GP, Tarnopolsky MA & Gibala MJ (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: Potential mechanisms. *J Physiol* **588,** 1011–1022.

Londeree BR (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sport Exerc* **29,** 837–843.

Lortie G, Simoneau JA, Hamel P, Boulay MR, Landry F & Bouchard C (1984). Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training. *Int J Sports Med* **5,** 232–236.

Ma JK, Scribbans TD, Edgett BA, Boyd CJ, Simpson CA, Little JP & Gurd BJ (2013). Extremely low-volume, high-intensity interval training improves exercise capacity and increases mitochondrial protein content in human skeletal muscle. *Open J Mol Integr Physiol* **03,** 202–210.

MacPherson REK, Hazell TJ, Olver TD, Paterson DH & Lemon PWR (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* **43,** 115–122.

Maillard F, Pereira B & Boisseau N (2018). Effect of High-Intensity Interval Training on Total , Abdominal and Visceral Fat Mass : A Meta-Analysis. *Sport Med* **48,** 269–288.

Mann T, Lamberts RP & Lambert MI (2013). Methods of prescribing relative exercise intensity: Physiological and practical considerations. *Sport Med* **43,** 613–625.

Martikainen T (2018). *Kehity pyöräilijänä: Pyöräilijän tehotreeni*. Fitra.

Matomäki P (2016). *Maantiepyöräilyn lajianalyysi ja valmennuksen ohjelmointi*. Valmentajaseminaarityö, Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos.

Matomäki P (2017). *Pyöräilyn hyötysuhteiden yhteydet* (thesis). Jyväskylän yliopisto.

Matomäki P (2018). Liikkumisen taloudellisuus. *(liikun T*65–70.

Matsuo T, Saotome K, Seino S, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, Ohshima H, Tanaka K & Mukai C (2014). Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on V̇O2maxand cardiac mass. *Med Sci Sports Exerc* **46,** 42–50.

Mayes R, Hardman AE & Williams C (1987). The influence of training on endurance and blood lactate concentration during submaximal exercise. *Br J Sports Med* **21,** 119–124.

Melanson EL, Sharp T a, Seagle HM, Horton TJ, Donahoo WT, Grunwald GK, Hamilton JT & Hill JO (2002). Effect of exercise intensity on 24-h energy expenditure and nutrient oxidation. *J Appl Physiol* **92,** 1045–1052.

Mendenhall LA, Swanson SC, Habash DL & Coggan AR (1994). Ten days of exercise training reduces glucose production and utilization during moderate-intensity exercise. *Am J Physiol* **266,** E136–E143.

Metcalfe RS, Babraj JA, Fawkner SG & Vollaard NBJ (2012). Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: Beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training. *Eur J Appl Physiol* **112,** 2767–2775.

Meyer T, Auracher M, Heeg K, Urhausen A & Kindermann W (2007). Effectiveness of low-intensity endurance training. *Int J Sports Med* **28,** 33–39.

Midgley AW & Mc Naughton LR (2006). Time at or near VO2max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO2max. *J Sports Med Phys Fitness* **46,** 1–14.

Milanović Z, Sporiš G & Weston M (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2maxImprovements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sport Med* **45,** 1469–1481.

Mohr M, Krustrup P, Nielsen JJ, Nybo L, Rasmussen MK, Juel C & Bangsbo J (2007). Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **292,** R1594–R1602.

Moore IS, Jones AM & Dixon SJ (2012). Mechanisms for improved running economy in beginner runners. *Med Sci Sports Exerc* **44,** 1756–1763.

Mujika I, Halson S, Burke LM, Balagué G & Farrow D (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *Int J Sports Physiol Perform* **13,** 538–561.

Muñoz I, Cejuela R, Seiler S, Larumbe E & Esteve-Lanao J (2014). Training intensity distribution during an Ironman season: relationship with com- petition performance. *Int J Sport Physiol Perfor- mance* **9,** 332–339.

Nevill ME, Boobis LH, Brooks S & Williams C (1989). Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* **67,** 2376–2382.

Nimmerichter A, Eston R, Bachl N & Williams C (2012). Effects of low and high cadence interval training on power output in flat and uphill cycling time-trials. *Eur J Appl Physiol* **112,** 69–78.

Norris SR & Petersen SR (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci* **16,** 733–738.

Nummela A (2017). Kestävyyssuorituskykyä suorituksen taloudellisuutta parantamalla. *Liik T* **54,** 22–26.

Nuuttila O-P, Nikander A, Polomoshnov D, Laukkanen JA & Häkkinen K (2017). Effects of HRV-Guided vs. Predetermined Block Training on Performance, HRV and Serum Hormones. *Int J Sports Med* **38,** 909–920.

Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD, Mohr M, Hornstrup T, Simonsen L, Bülow J, Randers MB, Nielsen JJ, Aagaard P & Krustrup P (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc* **42,** 1951–1958.

O'Donovan G (2005). Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *J Appl Physiol* **98,** 1619–1625.

O'Keefe JH, Lavie CJ & Guazzi M (2015). Part 1: Potential Dangers of Extreme Endurance Exercise: How Much Is Too Much? Part 2: Screening of School-Age Athletes. *Prog Cardiovasc Dis* **57,** 396–405.

O'Leary TJ, Collett J, Howells K & Morris MG (2017). Endurance capacity and neuromuscular fatigue following high- vs moderate-intensity endurance training: A randomized trial. *Scand J Med Sci Sport* **27,** 1648–1661.

Oberste M, Hartig P, Bloch W, Elsner B & Predel H (2017). Control Group Paradigms in Studies Investigating Acute Effects of Exercise on Cognitive Performance – An Experiment on Expectation-Driven Placebo Effects. **11,** 1–10.

Overend TJ, Paterson DH & Cunningham DA (1992). The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Can J Sport Sci* **17,** 129–134.

Paquette M, Le Blanc O, Lucas SJE, Thibault G, Bailey DM & Brassard P (2017). Effects of submaximal and supramaximal interval training on determinants of endurance performance in endurance athletes. *Scand J Med Sci Sport* **27,** 318–326.

Paton CD & Hopkins WG (2005). Combining explo- sive and high-resistance training improves performance in com- petitive cyclists. *J Strength Cond Res* **19,** 826–830.

Penteado R, Salvador AF, Corvino RB, Cruz R, LisbÔa FD, Caputo F & de Lucas RD (2014). Physiological responses at critical running speed during continuous and intermittent exhaustion tests. *Sci Sport* **29,** e99–e105.

Pette D (1984). Activity-induced fast to slow transitions in mammalian muscle. *Med Sci Sport Exerc* **16,** 517–528.

Phillips SM, Green HJ, MacDonald MJ & Hughson RL (1995). Progressive effect of endurance training on VO2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol* **79,** 1914–1920.

Phillips SM, Green HJ, Tarnopolsky MA, Heigenhauser GJF, Hill RE & Grant SM (1996). Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. *J Appl Physiol* **81,** 2182–2191.

Pilegaard H, Ordway GA, Saltin B & Neufer PD (2000). Transcriptional regulation of gene expression in human skeletal muscle during recovery from exercise. *Am J Physiol Metab* **279,** E806–E814.

Prud'Homme D, Bouchard C, Leblance C, Landry F, Lortie G & Boulay MR (1984). Reliability of assessments of ventilatory thresholds. *J Strateg Mark* **2,** 13–24.

Pugliese L, Porcelli S, Vezzoli A, La Torre A, Serpiello FR, Pavei G & Marzorati M (2018). Different training modalities improve energy cost and performance in master runners. *Front Physiol*; DOI: 10.3389/fphys.2018.00021.

Ramos JS, Dalleck LC, Tjonna AE, Beetham KS & Coombes JS (2015). The Impact of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Vascular Function : a Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med* **45,** 679–692.

Raubaité S, Baranauskiené N & Stasiulis A (2013). The time course of oxygen uptake, aerobic capacity and EMG during two months of moderate interval endurance training (a case study). *Educ Phys Training Sport* **91,** 22–30.

Reljic D, Wittmann F & Fischer JE (2018). Effects of low-volume high-intensity interval training in a community setting : a pilot study. *Eur J Appl Physiol* **118,** 1153–1167.

Ring-Dimitriou S, Duvillard SP, Paulweber B, Stadlmann M, LeMura LM, Peak K & Mueller E (2007). Nine months aerobic fitness induced changes on blood lipids and lipoproteins in untrained subjects versus controls. *Eur J Appl Physiol* **99,** 291–299.

Ring S, Stadlmann M & Paulweber B (2004). auf die aerobe Fitness und die Konzentration. **16,** 27–46.

Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cussó R & Parra J (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* **82,** 480–486.

Rønnestad BR (2015). Scientific evidence for strength training-induced benefits in endurance runners and cyclists. *Talk 16th Int Symp Comb Endur Strength Train Phys Fit Sport Perform From Sci to Pract*Jyväskylä, September 23-- 25.

Rønnestad BR & Hansen J (2016). Optimizing interval training at power output associated with peak oxygen uptake in well- trained cyclists. *J Strength Cond Res* **30,** 999–1006.

Rønnestad BR, Hansen J, Vegge G, Tønnessen E & Slettaløkken G (2015). Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists - An effort-matched approach. *Scand J Med Sci Sport* **25,** 143–151.

Rønnestad BR & Mujika I (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sport* **24,** 603–612.

Rossow L, Yan H, Fahs CA, Ranadive SM, Agiovlasitis S, Wilund KR, Baynard T & Fernhall B (2009). Postexercise Hypotension in an Endurance-Trained Population of Men and Women Following High- Intensity Interval and Steady-State Cycling. *Am J Hypertens* **23,** 358–367.

Rowan AE, Kueffner TE & Stavrianeas S (2012). Short Duration High-Intensity Interval Training Improves Aerobic Conditioning of Female College Soccer Players. *Int J Exerc Sci* **5,** 232–238.

Rusko HK (1992). Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. *Med Sci Sport Exerc* **24,** 1040–1047.

Saanijoki T, Nummenmaa L, Eskelinen J-J, Savolainen AM, Vahlberg T, Kalliokoski KK & Hannukainen JC (2015). Affective Responses to Repeated Sessions of High-Intensity Interval Training. *Med Sci Sport Exerc* **47,** 2604–2611.

Saanijoki T, Nummenmaa L, Koivuma M, Kalliokoski KK & Hannukainen JC (2018). Affective Adaptation to Repeated SIT and MICT Protocols in Insulin-Resistant Subjects. Med. *Med Sci Sport Exerc* **50,** 18–27.

Salazar-martínez E, Santalla A, Naranjo J, Strobl J, Burtscher M & Menz V (2018). Respiratory Physiology & Neurobiology In fl uence of high-intensity interval training on ventilatory e ffi ciency in trained athletes. **250,** 19–23.

Salmons S & Henriksson J (1981). The adaptive response of skeletal muscle to increased use. *Muscle Nerve* **4,** 94–105.

Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essén B & Gollnick PD (1976). The Nature of the Training Response; Peripheral and Central Adaptations to One-Legged Exercise. *Acta Physiol Scand* **96,** 289–305.

Sandbakk Ø, Sandbakk SB, Ettema G & Welde B (2013). Effects of intensity and duration in aerobic high-intensity interval training in highly trained junior cross-country skiers. *J Strength Cond Res* **27,** 1974–1980.

Saunders PU, Pyne DB, Telford RD & Hawley JA (2004). Reliability and variability of running economy in elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* **36,** 1972–1976.

Scrimgeour AG, Noakes TD, Adams B & Myburgh K (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **55,** 202–209.

Seiler KS & Kjerland GØ (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sport* **16,** 49–56.

Seiler S (2010*a*). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform* **5,** 276–291.

Seiler S (2010*b*). Seiler (2010) What is Best Practice for Training Intensity and Duration Distribution in Endurance Athlete IJSPP.pdf. 276–291.

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

Seiler S, Jøranson K, Olesen B V. & Hetlelid KJ (2013). Adaptations to aerobic interval training: Interactive effects of exercise intensity and total work duration. *Scand J Med Sci Sport* **23,** 74–83.

Seiler S & Sjursen JE (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scand J Med Sci Sport* **14,** 318–325.

Seiler S & Tønnessen E (2009). Intervals , Thresholds , and Long Slow Distance : the Role of Intensity and Duration in Endurance Training. *Training* **13,** 32–53.

Sharp RL, Costill DL, Fink WJ & King DS (1986). Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med* **7,** 13–17.

Shephard RJ & Astrand P-O eds. (2000). *Endurance in Sport*. Blackwell Science.

Sheykhlouvand M, Gharaat M, Khalili E & Agha-Alinejad H (2016). Effets d'un interval training à haute intensité sur le seuil ventilatoire et la capacité aérobie de canoéistes de kayak polo bien entraînés. *Sci Sport* **31,** 283–289.

Shimoyama Y, Tomikawa M & Nomura T (2003). The effect of rest periods on energy system contribution during interval swimming. *Eur J Sport Sci* **3,** 1–11.

Sindiani M, Eliakim A, Segev D & Meckel Y (2017). The effect of two different interval-training

programmes on physiological and performance indices. *Eur J Sport Sci* **17,** 830–837.

Sipola P, Heikkinen J, Laaksonen DE & Kettunen R (2009). Influence of 12 Weeks of Jogging on Magnetic Resonance-Determined Left Ventricular Characteristics in Previously Sedentary Subjects Free of Cardiovascular Disease. *Am J Cardiol* **103,** 567–571.

Skovgaard C, Brandt N, Pilegaard H & Bangsbo J (2016). Combined speed endurance and endurance exercise amplify the exercise-induced PGC-1α and PDK4 mRNA response in trained human muscle. *Physiol Rep* **4,** 1–14.

Sloth M, Sloth D, Overgaard K & Dalgas U (2013). Effects of sprint interval training on VO2max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sport* **23,** 341–352.

Smirmaul BPC, Bertucci DR & Teixeira IP (2013). Is the VO2max that we measure really maximal? *Front Physiol*; DOI: 10.3389/fphys.2013.00203.

Sökmen B, Witchey RL, Adams GM & Beam WC (2018). Effects of sprint interval training with active recovery vs. endurance training on aerobic and anaerobic power, muscular strength, and sprint ability. *J Strength Cond Res* **32,** 624–631.

Songsorn P, Lambeth-Mansell A, Mair JL, Haggett M, Fitzpatrick BL, Ruffino J, Holliday A, Metcalfe RS & Vollaard NBJ (2016). Exercise training comprising of single 20-s cycle sprints does not provide a sufficient stimulus for improving maximal aerobic capacity in sedentary individuals. *Eur J Appl Physiol* **116,** 1511–1517.

Sparrow WA & Newell KM (1994). Energy expenditure and motor performance relationships in humans learning a motor task. *Psychophysiology* **31,** 338–346.

Stamatakis E, Johnson NA, Powell L, Hamer M, Rangul V & Holtermann A (2019). Short and sporadic bouts in the 2018 US physical activity guidelines: is high-intensity incidental physical activity the new HIIT? *Br J Sports Med*; DOI: 10.1136/bjsports-2018-100397.

Stanley J, Peake JM & Buchheit M (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sport Med* **43,** 1259–1277.

Stasiulis A (2000). The Effects of Training Intensity on Blood Lactate Breakpoints in Runners. *J Hum Kinet* **3,** 17–26.

Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC & Hopkins WG (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sport Exerc* **31,** 736–741.

Stulberg B & Magness S (2017). *Peak Performance*. Rodale.

Svedenhag J, Henriksson J & Sylvén C (1983). Dissociation of training effects on skeletal muscle mitochondrial enzymes and myoglobin in man. *Acta Physiol Scand* **117,** 213–218.

Sylta Ø, Tønnessen E & Seiler S (2014). From heart-rate data to training quantification: A comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *Int J Sports Physiol Perform* **9,** 100–107.

Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F & Miyachi M (1997). Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sport Exerc* **29,** 390–395.

Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M & Yamamoto K (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO(2max). *Med Sci Sports Exerc* **28,** 1327–1330.

Thomas K, Elmeua M, Howatson G & Goodall S (2016). Intensity-Dependent Contribution of Neuromuscular Fatigue after Constant-Load Cycling. *Med Sci Sports Exerc* **48,** 1751–1760.

Thomas SG, Cunningham DA, Thompson J & Rechnitzer P. . (1985). Exercise training and ventilation threshold in elderly. *J Appl Physiol* **59,** 1472–1476.

Tjønna AE, Leinan IM, Bartnes AT, Jenssen BM, Gibala MJ, Winett RA & Wisløff U (2013). Low- and High-Volume of Intensive Endurance Training Significantly Improves Maximal Oxygen Uptake after 10-Weeks of Training in Healthy Men. *PLoS One* **8,** 1–7.

Tong TK, Chung PK, Leung RW, Nie J, Lin H & Zheng J (2011). Effects of non-wingate-based high intensity intarval training on cardiorespiratory fitness and aerobic-based exercise capacity in sedentary subjects: A preliminary study. *J Exerc Sci Fit* **9,** 75–81.

Tønnessen E, Shalfawi SAI, Haugen T & Enoksen E (2011). The effect of 40-m repeated sprint training on maximum sprinting speed, repeated sprint speed endurance, vertical jump, and aerobic capacity in young elite male soccer players. *J Strength Cond Res* **25,** 2364–2370.

Tønnessen E, Sylta Ø, Haugen TA, Hem E, Svendsen IS & Seiler S (2014). The road to gold: Training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One* **9,** 15–17.

Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J & Boutcher SH (2008). The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes* **32,** 684–691.

Tremblay MS, Copeland JL & Van Helder W (2005). Influence of exercise duration on post-exercise steroid hormone responses in trained males. *Eur J Appl Physiol* **94,** 505–513.

Tschakert G & Hofmann P (2013). High-Intensity Intermittent Exercise : Methodological and Physiological Aspects. 600–610.

Tschakert G, Kroepfl J, Hofmann P, Mueller A, Moser O & Groeschl W (2015). How to Regulate the Acute Physiological Response to " Aerobic " High-Intensity Interval Exercise. 29–36.

Turnes T, de Aguiar RA, Cruz RS de O & Caputo F (2016). Interval training in the boundaries of severe domain: effects on aerobic parameters. *Eur J Appl Physiol* **116,** 161–169.

Vanhatalo A, Jones AM & Burnley M (2011). Application of critical power in sport. *Int J Sports Physiol Perform* **6,** 128–136.

Vesterinen V, Nummela A, Heikura I, Laine T, Hynynen E, Botella J & Häkkinen K (2016). *Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability*.

Vollaard NBJ & Metcalfe RS (2017). Research into the Health Benefits of Sprint Interval Training Should Focus on Protocols with Fewer and Shorter Sprints. *Sport Med* **47,** 2443–2451.

Vollaard NBJ, Metcalfe RS & Williams S (2019). Effect of number of sprints in a SIT session on change in VO2max: a meta-analysis. *Med Sci Sport Exerc*.

Weltman A, Seip RL, Snead D, Weltman JY, Haskvitz EM, Evans WS, Veldhuis JD & Rogol AD (1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. *Int J Sports Med* **13,** 1992.

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

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

Weston M, Taylor KL, Batterham AM & Hopkins WG (2014). Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sport Med* **44,** 1005–1017.

Wewege M, Berg R Van Den, Ward RE & Keech A (2017). The effects of high-intensity interval training vs . moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults : a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* **18,** 635–646.

Williams AM, Paterson DH & Kowalchuk JM (2013). High-intensity interval training speeds the adjustment of pulmonary O2 uptake, but not muscle deoxygenation, during moderate-intensity exercise transitions initiated from low and elevated baseline metabolic rates. *J Appl Physiol* **114,** 1550–1562.

Yoshitake Y (1990). Effects of endurance training on blood lactate, plasma noradrenaline, heart rate, and systolic blood pressure at submaximal exercise. *Nihon Eiseigaku Zasshi* **45,** 971–979.

Zavorsky GS, Montgomery DL & Pearsall DJ (1998). Effect of intense interval workouts on running economy using three recovery durations. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **77,** 224–230.

Zelt JGE, Hankinson PB, Foster WS, Williams CB, Reynolds J, Garneys E, Tschakovsky ME & Gurd BJ (2014). Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal performance gains in healthy men. *Eur J Appl Physiol* **114,** 2427–2436.

Zuniga KE, Mueller M, Santana AR & Kelemen WL (2018). Acute aerobic exercise improves memory across intensity and fitness levels. *Memory*.