

**MAKSIMAALISEN LAKTAATIN TASAPAINON YHTEYS
NOUSEVATEHOISESTA KUORMITUKSESTA MÄÄRITETTYYN
ANAEROBISEEN KYNNYKSEEN**

Ilona Hiltunen

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2023
Työnohjaajat: Juha Ahtiainen ja Ari Nummela

TIIVISTELMÄ

Hiltunen, I. 2023. Maksimaalisen laktaatin tasapainon yhteys nousevatehoisesta kuormituksesta määritettyyn anaerobiseen kynnykseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 58 s., 4 liitettä.

Kestävyysharjoittelun ohjelmoinnissa on tärkeää tietää, vastaako kuntotestauksessa käytetyillä menetelmillä saadut tulokset haluttua fysiologista vastetta harjoittelussa. Tällä hetkellä tutkimustulokset eivät kaikilta osin ole yksiselitteisiä ja kuntotestauksen käytänteet vaihtelevat esimerkiksi anaerobisen kynnyksen määrittämisen osalta. Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli vertailla suorasta VO_{2max} -testistä määritettyä anaerobista kynnystä tasavauhtisista kuormituksista määritettyyn maksimaalisen laktaatin tasapainoon (MLSS).

Tutkimukseen osallistui 21 soutajaa, joista naisia oli 12 (ikä 34,5 (5,6) v, pituus 171,1 (5,9) cm, paino 69,5 (10,1) kg, VO_{2max} 3,10 (0,48) l/min) ja miehiä 9 (ikä 34,9 (6,6) v, pituus 186,7 (6,6) cm, paino 86,2 (7,8) kg, VO_{2max} 4,39 (0,47) l/min). Tutkittavat olivat kansallisen ja kansainvälisen tason eri soutulajien urheilijoita. Tutkittavat suorittivat soutuergometrillä yhteensä neljä testiä, joiden välissä oli vähintään 48 tuntia. Ensimmäinen testi oli suora VO_{2max} -testi, josta määritettiin anaerobinen kynnyks viidellä eri menetelmällä. Kolme seuraavaa testiä oli 30 minuutin kestoisia tasavauhtisia testejä, joista ensimmäinen tehtiin lineaarisovitemenetelmällä määritetyllä anaerobisella kynnyksellä. Kaikissa testeissä mitattiin syke, hapenkulutus ja veren laktaattipitoisuus. Tasavauhtisten testien tavoitteena oli löytää MLSS, joka määritelmän mukaan on korkein kuormitusteho, jolla veren laktaattipitoisuus muuttuu korkeintaan 1 mmol/l testin viimeisen 20 minuutin aikana. Jos tasavauhtinen testi oli yli MLSS-tehon, tehoa laskettiin seuraavaan testiin. Jos tasavahtisen testin aikana laktaattipitoisuus ei noussut yli 1 mmol/l, tehoa nostettiin seuraavaan tasavauhtiseen testiin.

MLSS-teho korreloi vahvasti kaikkien eri menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnyksen tehojen kanssa ($r = 0,973-0,983$, $p < 0,001$). MLSS-tehosta erosi merkitsevästi kaikki eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnyksethot ($p < 0,01$) paitsi D_{max} -menetelmällä määritetty kynnyksetho. Lineaarisoivitemenetelmällä määritetty teho oli 95 %:lle tutkittavista liian korkea MLSS-tason saavuttamiseksi. Lineaarisoivite-, D_{max} -, ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä määritetty anaerobista kynnystä vastaava syke, laktaattipitoisuus ja hapenkulutus eivät eronneet MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa mitatusta sykkeestä, laktaattipitoisuudesta ja hapenkulutuksesta. Sen sijaan $modD_{max}$ - ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetty anaerobista kynnystä vastaava syke, laktaattipitoisuus ja hapenkulutus olivat korkeampia kuin MLSS-teholla tehdyn kuormituksen syke, laktaattipitoisuus ja hapenkulutus. Kaikilla määrittämismenetelmillä määritetyt anaerobisen kynnyksen tehot olivat toisistaan voimakkaasti riippuvaisia ($p < 0,001$). Anaerobisen kynnyksen teho oli voimakkaasti riippuvainen nousevatehoisen testin viimeisen eli maksimaalisen kuorman keskitehosta ($p < 0,001$).

Tutkimuksessa käytetyt anaerobisen kynnyksen määrittämismenetelmät eivät D_{max} -menetelmää lukuun ottamatta tuottaneet MLSS:a vastaavaa tehoa soutuergometrikuormituksessa. Tämän tutkimuksen perusteella matemaattisten mallien käyttö anaerobisen kynnyksen määrittämisessä ei täysin luotettavasti ennusta MLSS-tehoa nousevatehoisesta testistä. MLSS-tehon arvioiminen nousevatehoisesta testistä tarvitsee tuekseen kokeneen kuntotestaajan ja valmentajan asiantuntemusta.

Asiasanat: MLSS, laktaattikynnyks, VO_{2max} -testi, kynnyksetesti, soutuergometri

ABSTRACT

Hiltunen, I. 2023. Maximal lactate steady state relation to anaerobic threshold determined by incremental test. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 58 pp., 4 appendices.

When programming endurance training, it is important to know whether the results of the fitness tests correspond to the desired physiological response. Currently, there is no consensus between different endurance testing methods, for example regarding the determination of the anaerobic threshold. The purpose of this Master's thesis was to compare the anaerobic threshold determined by an incremental VO_{2max} -test with maximal lactate steady state (MLSS) determined by constant load tests.

The participants of this study were 21 rowers, of which 12 were female (age 34,5 (5,6) years, height 171,1 (5,9) cm, weight 69,5 (10,1) kg, VO_{2max} 3,10 (0,48) l/min) and 9 were male (age 34,9 (6,6) years, height 186,7 (6,6) cm, weight 86,2 (7,8) kg, VO_{2max} 4,39 (0,47) l/min). The participants were national and international level athletes in various rowing disciplines. The participants performed a total of four tests, separated by at least 48 hours, on a rowing ergometer. The first test was the incremental VO_{2max} -test, from which the anaerobic threshold was determined using five different methods. The next three tests were 30-minute constant load tests, of which the first was performed at the anaerobic threshold determined by the linear fit method. Heart rate, oxygen consumption and blood lactate concentration were measured in all tests. The objective of the constant load tests was to find the MLSS, which is defined by the highest load at which the blood lactate concentration changes by no more than 1 mmol/l during the last 20 minutes of the test. If the constant load test was above the MLSS, the power was lowered for the next test. If during the constant load test the lactate concentration did not rise above the 1 mmol/l, the power was increased to the next constant load test.

MLSS power correlated strongly with the power of all anaerobic thresholds determined by different methods ($r = 0.973-0.983$, $p < 0.001$). MLSS power was significantly different from all anaerobic threshold powers determined by the different methods ($p < 0.01$) except for the threshold power determined by the D_{max} -method. The power determined by the linear fit method was too high for 95% of participants to reach the MLSS. The heart rate, lactate concentration and oxygen consumption corresponding the anaerobic threshold determined by the linear fit, D_{max} , and OBLA (3 mmol/l) methods were not different from the heart rate, lactate concentration and oxygen consumption measured at MLSS power. In contrast, the heart rate, lactate concentration and oxygen consumption corresponding to the anaerobic threshold determined by $modD_{max}$ and OBLA (4 mmol/l) were higher than the heart rate, lactate concentration and oxygen consumption of the MLSS. The anaerobic threshold power determined by different methods were strongly correlated to each other ($p < 0.001$). Anaerobic threshold power was strongly dependent on the mean power of the last, maximal step of the incremental test ($p < 0.001$).

Except for the D_{max} method, the anaerobic threshold determination methods used in this study did not produce the same power with the MLSS on the rowing ergometer. The results indicate that the use of mathematical models to determine anaerobic threshold is not entirely valid for predicting MLSS from the incremental test. Estimating MLSS from an incremental test requires the expertise of an experienced fitness tester and a coach.

Key words: MLSS, lactate threshold, VO_{2max} test, incremental step test, rowing ergometer

KÄYTETYT LYHENTEET

AerK	aerobinen kynnys
AnK	anaerobinen kynnys
ATP	adenosiinitrifosfaatti, runsasenergiainen yhdiste
FK	fosfokreatiini, lihasten energianlähde
D_{max}	laktaattikäyrän muotoon perustuva anaerobisen kynnyksen määrittäminen
LT1	ensimmäinen laktaattikynnys eli aerobinen kynnys
LT2	toinen laktaattikynnys eli anaerobinen kynnys
MLSS	maximal lactate steady state eli maksimaalinen laktaatin tasapaino
$modD_{max}$	laktaattikäyrän muotoon perustuva anaerobisen kynnyksen määrittäminen
OBLA	onset of blood lactate accumulation, kiinteään laktaattipitoisuuteen perustuva anaerobinen kynnys
PETCO ₂	hiilidioksidipaine
RPE	rating of perceived exertion eli kuormitustuntemus
VCO ₂	hiilidioksidin tuotto
VE	ventilaatio eli keuhkotuuletus
VO ₂	hapenkulutus
VO _{2max}	maksimaalinen hapenottokyky
%VO _{2max}	suhteellinen aerobinen teho, suorituksen aikaisen hapenkulutuksen osuus VO _{2max} :stä
VT1	ensimmäinen ventilaatiokynnys
VT2	toinen ventilaatiokynnys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	KESTÄVYYSSUORITUSTA MÄÄRITTÄVÄT FYYSISET OMINAISUUDET.....	2
	2.1 Energiantuotto kestävyys-suorituksessa	2
	2.2 Maksimaalinen hapenottokyky	3
	2.3 Suhteellinen aerobinen teho ja anaerobinen kynnys.....	3
	2.4 Suorituksen taloudellisuus	4
	2.5 Hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokyky.....	5
3	ANAEROBISEN KYNNYKSEN MÄÄRITTÄMINEN.....	6
	3.1 Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi.....	6
	3.2 Anaerobisen kynnyn määrittäminen Suomessa	9
	3.3 Anaerobisen kynnyn muita määrittämenetelmiä	11
	3.3.1 Kiinteät laktaattikynnykset	11
	3.3.2 Laktaattikäyrän muotoon perustuvia menetelmiä.....	13
4	MAKSIMAALINEN LAKTAATIN TASAPAINO	15
5	FYSIOLOGISET MUUTTUJAT ANAEROBISEN KYNNYKSEN TASOLLA.....	17
	5.1 Laktaattipitoisuus anaerobisen kynnyn tasolla.....	17
	5.2 Syke ja hapenkulutus anaerobisen kynnyn tasolla	18
6	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	20
7	MENETELMÄT.....	22
	7.1 Tutkittavat.....	22
	7.2 Tutkimusasetelma	23
	7.3 Aineiston keräys ja analysointi.....	24
	7.4 Tilastolliset menetelmät.....	29

8 TULOKSET	30
8.1 Maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset	30
8.2 Maksimaalisen laktaatin tasapainon arvioiminen anaerobisen kynnyksen perusteella.....	30
8.3 Maksimaalisen laktaatin tasapainon yhteys anaerobiseen kynnykseen.....	31
9 POHDINTA.....	36
9.1 Maksimaalisen laktaatin tasapainoa vastaavan tehon vertailu anaerobisen kynnyksen tehoon.....	36
9.2 Maksimaalisen laktaatin tasapainon laktaattipitoisuuden vertailu anaerobisen kynnyksen laktaattipitoisuuteen	41
9.3 Maksimaalisen laktaatin tasapainoa vastaavan sykkeen ja hapenkulutuksen vertailu anaerobisen kynnyksen sykkeeseen ja hapenkulutukseen.....	43
9.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet	45
9.5 Johtopäätökset.....	46
9.6 Käytännön sovellukset.....	47
LÄHTEET	48
LIITTEET	
Liite 1: Terveys- ja taustakysely	
Liite 2: Ohjeet testiin valmistautumiseen	
Liite 3: Kuormaporrastaulukko	
Liite 4: Kuormitustuntemustaulukko	

1 JOHDANTO

Kestävyyskunnan mittaamiseksi on tärkeää löytää luotettavat ja toistettavat kestävyyskuntoa määrittävät muuttujat ja testit. Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat maksimaalinen hapenotokyky (VO_{2max}), kyky ylläpitää korkeaa osuutta maksimaalisesta hapenotosta eli suhteellinen aerobinen teho ($\%VO_{2max}$), suorituksen taloudellisuus, anaerobinen energiantuottokyky sekä hermo-lihasjärjestelmän toiminta (Bassett & Howley 2000; Joyner & Coyle 2008; Levine 2008; Peltonen & Nummela 2018). Kestävyystesteissä määritetty anaerobinen kynnys on yhteydessä $\%VO_{2max}$:oon (Bassett & Howley 2000). Anaerobisen kynnyksen on todettu korreloivan vahvasti kestävyysuorituskyvyn kanssa eri lajeissa, minkä vuoksi sitä on käytetty kestävyyskunnan yhtenä mittarina. Lisäksi anaerobista kynnystä käytetään kestävyysharjoittelun tehoalueiden määrittämisessä. (Bourdon 2013; Faude ym. 2009; Ferguson ym. 2018; Heuberger ym. 2018; Svedahl & MacIntosh 2003)

Anaerobinen kynnys on selkeä muutoskohta veren laktaattipitoisuudessa ja hengitysvasteissa nousevatehoisen kestävyyskuormituksen aikana (Nummela & Peltonen 2018a). Anaerobisen kynnyksen on tarkoitus vastata korkeinta kuormitustehoa, jolla elimistön energiantarve voidaan vielä kattaa pääasiallisesti aerobisen energiantuoton avulla, jolloin anaerobisen energiantuoton yhteydessä syntyvän laktaatin tuotto ja poisto ovat tasapainossa (Billat ym. 2003; Svedahl & MacIntosh 2003). Tätä kuormitustehoa kutsutaan myös maksimaaliseksi laktaatin tasapainoksi (MLSS, maximal lactate steady state). Koska MLSS:n ja anaerobisen kynnyksen fysiologinen tausta on sama, tulisi niiden vastata toisiaan (Binder ym. 2008; Bourdon ym. 2018). MLSS-tehon määrittäminen vaatii useamman pitkän tasavauhtisen kestävyystestin. Sen sijaan anaerobinen kynnys voidaan määrittää suorasta VO_{2max} -testistä. Anaerobisen kynnyksen määrittämiseen suorasta VO_{2max} -testistä on olemassa useita erilaisia tapoja ja useita erilaisia kuormitusmalleja, joiden paremmuudesta ei olla päästy yksimielisyyteen huolimatta usean vuosikymmenen aikana tehdyistä lukuisista tutkimuksista. (Beneke 2003b; Faude ym. 2009; Heuberger ym. 2018; Jamnick ym. 2020)

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli vertailla suorasta VO_{2max} -testistä määritettyä anaerobista kynnystä tasavauhtisista kuormituksista määritettyyn maksimaalisen laktaatin tasapainoon. Anaerobisen kynnyksen määrittäminen käytettiin Suomessa kehitettyä lineaarisovitemenetelmää sekä muita yleisimpiä käytössä olevia menetelmiä. Kuormitustapana käytettiin soutuergometria.

2 KESTÄVYYSSUORITUSTA MÄÄRITTÄVÄT FYYSISET OMINAISUUDET

2.1 Energiantuotto kestävyysuorituksessa

Lihastyöhön tarvittava energia saadaan adenosiinitrifosfaatti (ATP) -molekyylistä, jonka hajoamisessa vapautuu energiaa. Lihassolussa on varastoituneena hyvin pieniä määriä ATP:a, eikä lihassolu käytä ATP-varastoja koskaan täysin loppuun, joten ATP:a pitää muodostaa koko ajan lisää lihassolun energiantarpeen täyttämiseksi. Nopeiten ATP:a saadaan lisää hajottamalla fosfokreatiinia (FK), jota myös on varastoituneena pieni määrä lihassolussa. Lihakseen varastoitunutta ATP:a ja FK:a voidaan käyttää lyhyissä suorituksissa ja lihastyön alussa, mutta niiden varastot riittävät vain muutaman sekunnin ajaksi. (Gastin 2001; Nummela 2016a).

Lihastyön jatkamiseksi tarvitaan lisää ATP:a, jota saadaan hajottamalla glukoosia ja lihasglykogeenia glykolyysireaktiossa, jossa glukoosista muodostuu palorypälehappoa ja edelleen maitohappoa. Maitohappo hajoaa välittömästi laktaatti- ja vetyioniksi. Laktaatti- ja vetyionit siirtyvät verenkiertoon, jonka avulla ne voidaan kuljettaa elimistön muihin kudoksiin. Laktaatti-ioneja voidaan edelleen käyttää energiaksi elimistön muissa soluissa. Glykolyysi on kohtalaisen nopea energiantuottotapa ja sen avulla pystytään tuottamaan suuri määrä energiaa, mutta koska sen aiheuttama happamuuden lisääntyminen sekä siinä syntyvien aineenvaihduntatuotteiden kertyminen häiritsevät glykolyysiä ja lihassupistusta, sitä voidaan maksimaalisesti hyödyntää vain joitakin minuutteja. Lihassoluun varastoituneiden ATP- ja FK-molekyylien sekä glykolyysin avulla tuotetun energian energiantuottotapaa kutsutaan anaerobiseksi, koska reaktioissa ei tarvita happea. (Fitts 2016; Gastin 2001; Nummela 2016a).

Kaikkea glukoosin sisältämää energiamäärää ei käytetä glykolyysissä, minkä vuoksi glykolyysissä syntynyt palorypälehappo voidaan edelleen muuttaa asetyyli-CoA:ksi, joka pilkotaan lihassolun mitokondriossa hiilidioksidiksi ja vedyksi. Vetyatomit voidaan edelleen hapettaa vedeksi. Tämä reaktiosarja tarvitsee happea ja sitä kutsutaan aerobiseksi energiantuotoksi. Aerobisen energiantuoton tuloksena saadaan moninkertainen määrä ATP-molekyyliä verrattuna glykolyysiin. Aerobinen energiantuotto on kuitenkin glykolyysiä hitaampaa ja tämän vuoksi aerobinen energiantuotto ei riitä kattamaan energiantarvetta, kun energiaa tarvitaan nopeasti. Aerobisessa energiantuotossa voidaan hapettaa myös rasvoja ja proteiineja. Rasvavarastoista saadaan energiaa lähes rajattomasti, mutta rasvojen hapettaminen on vielä hitaampaa kuin glukoosin ja glykokeenin hapettaminen. Kaikki energiantuottotavat

toimivat samanaikaisesti, mutta niiden käyttö riippuu siitä, miten nopeasti energiaa tarvitaan eli miten korkea on suorituksen intensiteetti ja miten kauan suoritus kestää. Suorituksen pidentyessä aerobisen energiantuoton osuus kasvaa. (Gastin 2001; Nummela 2016a)

2.2 Maksimaalinen hapenotto- ja hengityskyky

VO_{2max} on suurin määrä happea, jonka elimistö pystyy kuljettamaan lihaksille ja käyttämään lihastyön energiantuottoon (Poole & Jones 2017; Taylor ym. 1955). VO_{2max} on tärkeimpiä kestävyys- ja suorituskykyä selittäviä tekijöitä, koska se määrittää ylärajan aerobiselle energiantuotolle (Bassett & Howley 2000; di Prampero 2003; Joyner & Coyle 2008; Levine 2008; McLaughlin ym. 2010; Nummela 2016b). VO_{2max} :yyn vaikuttavat hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky siirtää ja kuljettaa ilmasta happea työskenteleville lihaksille, hapen siirtyminen verenkierrosta lihassolun mitokondrioihin, sekä lihasten kyky käyttää happea energiantuottoon (Bassett & Howley 2000; Ferretti 2014; Peltonen & Nummela 2018). Terveellä ihmisellä merenpinnan tasolla VO_{2max} :n rajoittava tekijä koko kehon maksimaalisessa kuormituksessa on verenkiertoelimistön toiminta eli hapen kuljetukseen liittyvät mekanismit, kuten sydämen iskutilavuus ja veren hapenkuljetuskyky (Bassett & Howley 2000; Ferretti 2014; Levine 2008).

VO_{2max} voidaan selvittää hengityskaasuanalysaattorilla, jolla mitataan ventilaatiota (VE) eli keuhkotuuletusta ja keuhkoissa tapahtuvaa kaasujen vaihtoa eli hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksien eroa sisään- ja uloshengitysilmassa. Mittauksen tuloksena saadaan elimistön hapen kulutus (VO_2) ja hiilidioksidin tuotto (VCO_2). (Martin-Rincon & Calbet 2020; Nummela & Peltonen 2018a) VO_{2max} :n mittausta pidetään sydän- ja verenkiertoelimistön toimintakapasiteetin mittaamisen kultaisena standardina (Martin-Rincon & Calbet 2020). VO_{2max} voidaan ilmaista absoluuttisena tilavuutena minuutissa (ml/min) tai kehon painoon suhteutettuna tilavuutena minuutissa (ml/kg/min) (American College of Sports Medicine 2018).

2.3 Suhteellinen aerobinen teho ja anaerobinen kynnys

Kestävyys- ja suorituskyvyn kannalta ratkaisevaa on, miten suurta osuutta VO_{2max} :stä (% VO_{2max}) pystytään ylläpitämään tarvittavan suoritusajan (Joyner & Coyle 2008). Tätä ominaisuutta kut-

sutaan myös suhteelliseksi aerobiseksi tehoksi. Kestävyysharjoitelleet henkilöt pystyvät ylläpitämään korkeampaa $\%VO_{2max}$ -tasoa kuin harjoittelemattomat. VO_{2max} ja kyky työskennellä mahdollisimman korkealla osuudella maksimihapenotosta määrittävät yhdessä henkilön aerobisen energiantuoton kapasiteetin suorituksen aikana. $\%VO_{2max}$:oon vaikuttavat pääasiassa perifeeriset eli lihastason aerobiset mekanismit, kuten kapillaaritiheys ja lihassolujen mitokondrioiden toiminta. (Bassett & Howley 2000)

$\%VO_{2max}$ on yhteydessä anaerobisella kynnysteholla mitattuun hapenkulutuksen tasoon (Bassett & Howley 2000; Ferretti 2014). Anaerobinen kynnys on korkein kuormitusteho, jolla aerobinen energiantuotto pystyy kattamaan lähes kokonaan lihasten energian tarpeen kuormitettaessa isoja lihasryhmiä (Billat ym. 2003; Svedahl & MacIntosh 2003). Anaerobisella kynnysteholla laktaatin tuotto ja poisto sekä hapenkulutus pysyvät tasapainossa ja kynnystehoa pystytään ylläpitämään ilman suorituskyvyn laskua ja nopeaa uupumusta (Keir ym. 2015). Anaerobisen kynnyksen ylittyessä anaerobinen energiantuotto kiihtyy niin, että sen tuotteena syntyyä laktaattia ja vetyioneja alkaa kertyä lihaksiin ja verenkiertoon (Svedahl & MacIntosh 2003). Anaerobinen kynnys on 65–90 % tasolla VO_{2max} :stä (Beneke 2003b). Kestävyysharjoitelleilla sekä absoluuttinen VO_2 että $\%VO_{2max}$ on suurempi anaerobisella kynnysteholla verrattuna harjoittelemattomiin (Greco ym. 2011).

Anaerobisen kynnyksen on todettu korreloivan vahvasti kestävyys suorituskyvyn kanssa useassa eri lajissa, kuten juoksussa, pyöräilyssä, kävelyssä ja soudussa (Bourdin ym. 2017; Faude ym. 2009; Hoffman ym. 2020; Ingham ym. 2013; Ingham ym. 2002; Nevill ym. 2011; Nicholson & Sleivert 2001; Turnes ym. 2019). Kestävyysharjoittelijoilla on todettu, että suorituskyky voi nousta harjoittelun myötä, vaikka VO_{2max} pysyisi samana (Svedahl & MacIntosh 2003). Anaerobisen kynnyksen paraneminen voikin selittää paremmin suorituskyvyn kasvua silloin, kun VO_{2max} ei enää kehity (Greco ym. 2011; Svedahl & MacIntosh 2003).

2.4 Suorituksen taloudellisuus

Kestävyys suorituksen taloudellisuudella tarkoitetaan mahdollisimman pientä hapenkulutusta tietyllä nopeudella tai teholla (Joyner & Coyle 2008; Nummela & Peltonen 2018a). Taloudellisuus kertoo yksilön kyvystä muuttaa energiaa liikkeeksi (Bassett & Howley 2000) ja siihen

vaikuttaa hermo-lihasjärjestelmän suorituskyky sekä suoritustekniikka (Nummela 2016b). Samalla liikkumisnopeudella voi hapenkulutuksessa olla 20–40 % eroja yksilöiden välillä (Joyner & Coyle 2008).

Hyvin harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla VO_{2max} voi pysyä samana, vaikka suorituskyvyssä tapahtuu muutoksia. Ratkaiseva tekijä suorituskyvyssä voi tällöin olla taloudellisuus, anaerobinen kynnys tai anaerobinen energiantuottokyky (Bassett & Howley 2000; Greco ym. 2011; Losnegard ym. 2013). Hyvä taloudellisuus voi kompensoida matalampaa VO_{2max} :ä, jolloin hyvän taloudellisuuden omaavien urheilijoiden suorituskyky voi olla sama huolimatta heikomasta VO_{2max} :stä (Lucia ym. 2002). McLaughlinin ym. (2010) mukaan kestävyysjuoksusuorituskykyä selitti parhaiten VO_{2max} -tason juoksunopeus, johon vaikuttaa sekä VO_{2max} että taloudellisuus. Myös huippusoutajilla suorituskykyä 2000 metrin ergometrisoudussa yksi parhaiten selittävä tekijöistä on suoritusteho VO_{2max} -tasolla (Blervaque ym. 2022; Ingham ym. 2002; Ingham ym. 2013; Nevill ym. 2011).

2.5 Hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokyky

Kestävyysuorituksen keskinopeuteen vaikuttaa tehontuoton ja energiankulutuksen suhde. Mitä suuremmalla tehontuotolla ja pienemmällä energiankulutuksella henkilö pystyy liikettä suorittamaan sen suurempi on suorituksen mahdollinen keskinopeus. (Nummela & Häkkinen 2016) Hermo-lihasjärjestelmän voimantuottokyky määrittää ylärajan liikkumisnopeudelle (Nummela 2016b). Hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokykyyn vaikuttaa myös anaerobinen energiantuottokyky (diPrampero 2003; Levine 2008).

Paavolaisen (1999) mukaan hermo-lihasjärjestelmän ominaisuudet sekä lihasten tehontuottokyky vaikuttavat juoksusuorituskykyyn. Lisäksi Paavolainen (1999) havaitsi nopeusvoimaharjoittelun kehittävän viiden kilometrin juoksusuoritusta ilman muutoksia muissa suorituskykymuuttujissa. Myös soutajilla on huomattu viiden vedon maksimitohon ja maksimivoiman olevan tärkeimpien tekijöiden joukossa ennustettaessa suorituskykyä 2000 metrin soutuergometrisuorituksessa (Ingham ym. 2002; Nevill ym. 2011).

3 ANAEROBISEN KYNNYKSEN MÄÄRITTÄMINEN

3.1 Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi

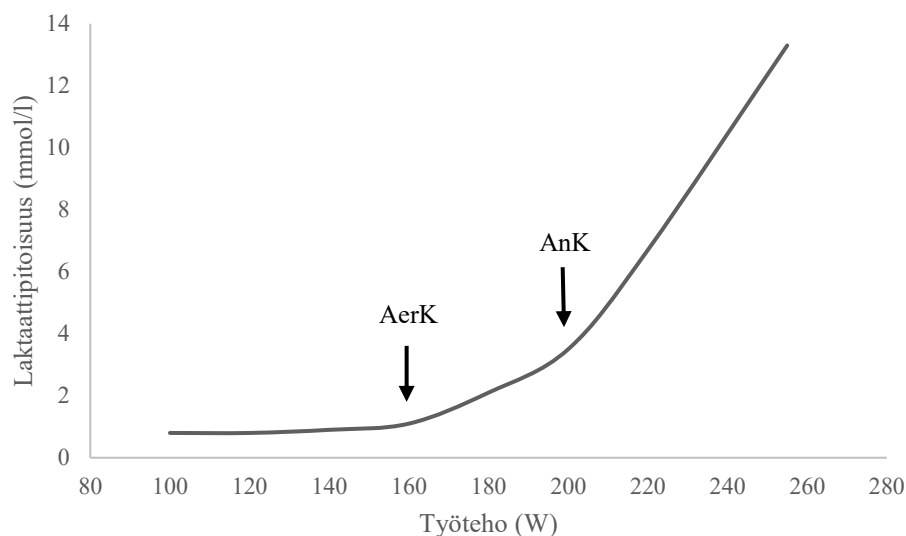
Anaerobinen kynnys määritetään usein suoran VO_{2max} -testin yhteydessä (Beneke 2003b; Binder ym. 2008). Suora VO_{2max} -testi on yleinen kestävyyskunnan määrittämenetelmä, jolla saa tietoa sekä maksimaalisesta kestävyys suorituskyvystä että elimistön fysiologisista vasteista eri kuormitustehoilla. Testi suoritetaan tietyin väliajoin kuormitustehoa portaittain nostaten aina maksimisuorituskykyyn asti. Suorassa VO_{2max} -testissä mitataan hengityskaasuanalysointorilla ventilaatiota eli keuhkotuuletusta sekä hapen ja hiilidioksidin pitoisuuksien eroa sisään- ja uloshengitysilman välillä. Näiden muuttujien avulla voidaan laskea maksimaalinen hapenkulutus, joka vastaa VO_{2max} :ää. (American College of Sports Medicine 2018; Bentley ym. 2007; Martin-Rincon & Calbet 2020) Suoran VO_{2max} -testin yhteydessä voidaan mitata veren laktaattipitoisuutta sormenpäältä tai korvalehdestä otetuista kapillaariverinäytteistä (Nummela & Peltonen 2018a).

Hengitysmuuttujien ja veren laktaattipitoisuuden vasteita nousevaan kuormitustehoon tarkastelemalla saadaan tietoa elimistön energiantuottomekanismien toiminnasta ja suhteellisista muutoksista. Hengitysmuuttujien ja laktaattipitoisuuden muutosten perusteella voidaan määrittää niin sanottuja kynnysarvoja, joita voidaan käyttää kestävyys suorituskyvyn arvioinnissa sekä kestävyys harjoittelun tehoalueiden määrittämisessä. Kynnysarvot voidaan määrittää sekä hengitysmuuttujista että laktaattiarvoista. (Faude ym. 2009; Ferguson ym. 2018; Nummela & Peltonen 2018a; Svedahl & MacIntosh 2003)

Kuormitustehoa nostettaessa anaerobinen energiantuotto lisääntyy, jolloin elimistön happamuus alkaa nousta. Happamuuden puskuroinnin vaikutuksesta hiilidioksidin tuotto lisääntyy suhteessa hapenkulutukseen. Lisäksi hengityksen säätelytekijöiden vaikutuksesta ventilaatio kiihtyy suhteessa hapenkulutukseen. Tämä hiilidioksidin tuoton ja ventilaation nousukohta on ensimmäinen ventilaatiokynnys (VT1). Toinen ventilaatiokynnys (VT2) on kuormitusteho, jolla ventilaatio alkaa kasvaa jyrkemmin suhteessa tehon nousuun, hapenkulutukseen tai hiilidioksidin tuottoon, koska hyperventilaation avulla pyritään kompensoimaan elimistön voimakasta happamuuden kasvua. VT2 voidaan määrittää ventilaation nousun muutos-

kohtaan suhteessa hapenkulutukseen (VE/VO_2) tai hiilidioksidin tuottoon (VE/VCO_2) tai hiilidioksidiosapaineen ($PETCO_2$) laskukohtaan suhteessa suoritustehoon (Laplaud ym. 2006; Nummela & Peltonen 2018a; Svedahl & MacIntosh 2013).

Anaerobisen energiantuoton yhteydessä syntyy laktaattia, jota voidaan edelleen käyttää aerobiseen energiantuottoon. Kun anaerobinen energiantuotto kiihtyy kuormitustehon kasvaessa, laktaattia syntyy enemmän kuin sitä ehditään käyttää aerobisessa energiantuotossa. Tällöin laktaattia alkaa kertyä verenkiertoon. (Beneke ym. 2011) Veren laktaattipitoisuuden muutoksista suhteessa työtehoon nousevatehoisessa kuormituksessa muodostuu eksponentiaalisesti kasvava käyrä, jossa voidaan havaita kaksi muutoskohtaa (kuva 1). Aerobinen kynnys eli ensimmäinen laktaattikynnys (LT1) on laktaattikäyrän kohta, jossa laktaatti ensimmäisen kerran nousee perustasosta. Anaerobinen kynnys eli toinen laktaattikynnys (LT2) on kohta, jossa laktaatti alkaa nousta jyrkästi suhteessa kuormitustehoon. (Beneke ym. 2011; Binder ym. 2008; Bourdon 2013; Faude ym. 2009)



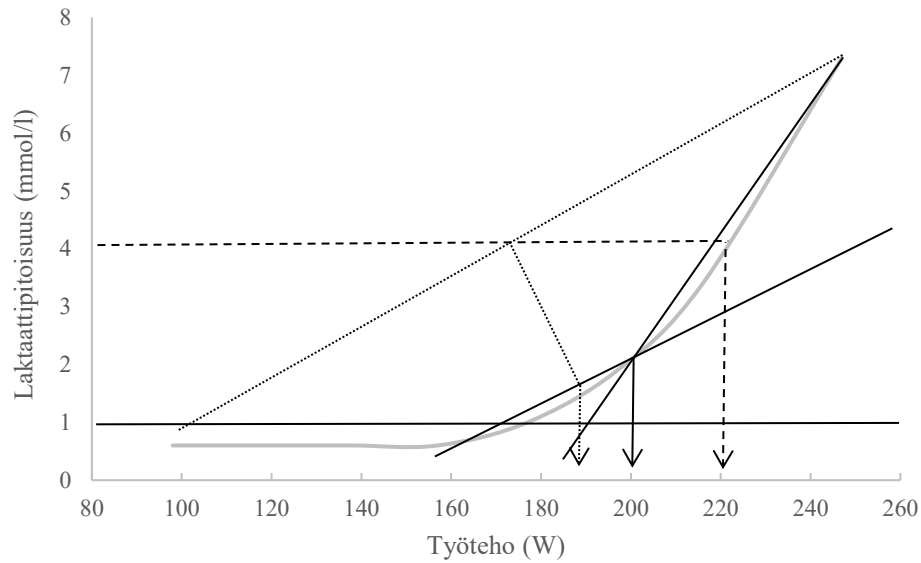
KUVA 1. Laktaattipitoisuuden muutos suhteessa työtehoon. Kuvaan on merkitty aerobinen kynnys (AerK) ja anaerobinen kynnys (AnK). Mmol/l, millimoolia litrassa; W, watti.

Suoran VO_{2max} -testin suorittamiseksi on olemassa useita erilaisia kuormitusmalleja. Erilaiset testiprotokollat voivat vaikuttaa testituloksiin. Maksimaalisen hapenkulutuksen määrittämistä varten optimaalinen suoran VO_{2max} -testin kokonaispituus on 8-12 minuuttia, jolloin kuormitusportaat ovat 30-60 sekuntia pitkiä (Nummela & Peltonen 2018a; Poole & Jones 2017). Pidemmässä testeissä maksimaalinen hapenkulutus voi jäädä alemmas, koska

väsymyksen vuoksi maksimia ei välttämättä saavuteta (Bourdon ym. 2018; Jamnick ym. 2018). Kuormaportaiden pituus vaikuttaa kuitenkin kynnysarvoihin (Beneke ym. 2011; Bourdon ym. 2018; Czuba ym. 2009; Jamnick ym. 2018). Laktaattikynnysten määrittämiseksi tarvitaan vähintään kolme minuuttia kestävät kuormaportaat (Bentley ym. 2007; Jamnick ym. 2020). Tosin kolme minuuttiakin on liian lyhyt aika lihaksen sisäisen ja veren välisen laktaattipitoisuuden tasapainon saavuttamiseksi, minkä vuoksi lyhyet kuormaportaat yliarvioivat laktaattikynnysten tasoa (Bourdon ym. 2018; Czuba ym. 2009). Kuormaportaiden pituus vaikuttaa myös ventilaatiokynnyksiä vastaaviin työtehoihin, koska tehoa vastaavan hapenkulutuksen saavuttamiseen kuluu noin kolme minuuttia (Nummela & Peltonen 2018a). Suora nousevatehoinen VO_{2max} -testi kolmen minuutin kuormaportailta onkin yleisesti käytössä (Nummela & Peltonen 2018a; Possamai ym. 2021). Kuormaportaiden keston lisäksi tuloksiin vaikuttaa tehon lisäyksen suuruus kuormaportaiden välillä sekä mahdolliset tauot kuormaportaiden välissä (Beneke ym. 2011; Svedahl & MacIntosh 2003).

VO_{2max} -testin kokonaiskesto riippuu kuormaportaiden keston lisäksi aloituskuorman tehosta sekä tehon noston suuruudesta kuormaportaiden välillä. Suositeltavaa on suunnitella aloituskuorma ja kuormaportaiden nostot yksilöllisesti kunnan mukaan niin, että testin kokonaiskesto olisi melko sama eri henkilöillä (Jamnick ym. 2018). Laktaattikynnysten määrittystä varten kuormaportaita olisi hyvä olla yhteensä 8-12, jotta kynnysanalyysiä varten on riittävästi laktaattiarvopisteitä. Kynnysanalyysin onnistumiseksi aloitusteho on oltava alle aerobisen kynnyksen tehon. (Nummela & Peltonen 2018a)

Anaerobisen kynnyksen määrittämiseen suorasta VO_{2max} -testistä on olemassa useita erilaisia menetelmiä (Beneke 2003b; Faude ym. 2009; Heuberger ym. 2018; Jamnick ym. 2020). Anaerobisen kynnyksen eri määrittämenetelmillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Yleisesti ottaen eri menetelmät korreloivat suhteessa toisiinsa sekä kestävyys suorituskyvyn kanssa. Läheskään aina eri menetelmät eivät kuitenkaan tuota samaa anaerobisen kynnyksen tehoa tai intensiteettiä (kuva 2). Tämän vuoksi eri menetelmillä määritettyjen kynnysten vertailu on haastavaa (Ferguson ym. 2018).



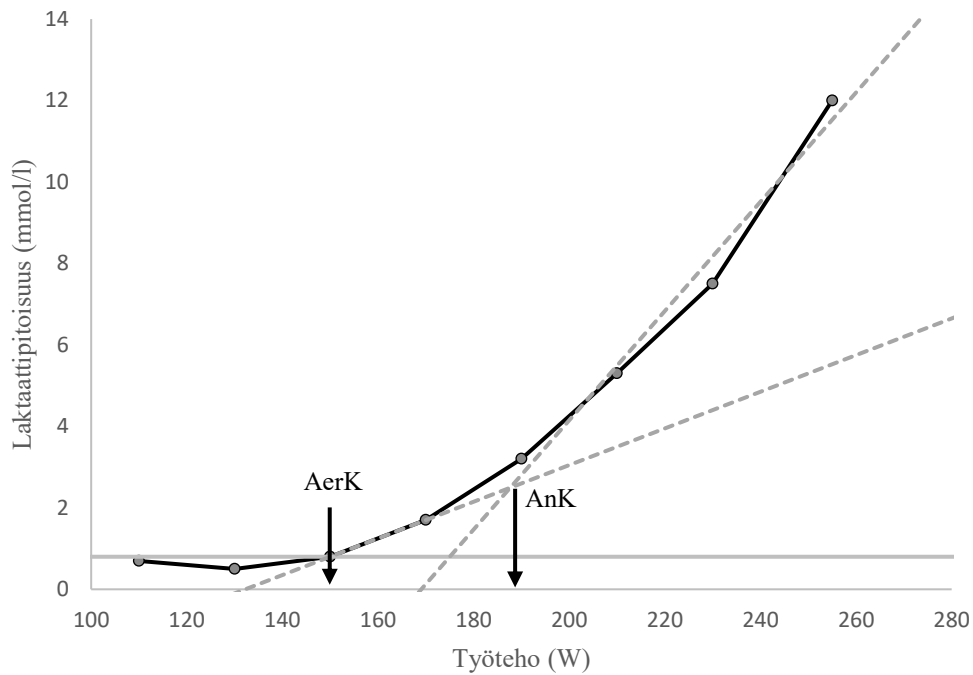
KUVA 2. Kolme eri anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmää: lineaarisovitemenetelmä (yhtenäinen viiva), D_{\max} -menetelmä (pisteviiva), kiinteä laktaattikynnys eli OBLA (4 mmol/l) (katkoviiva). Laktaattikäyrä; harmaa viiva). Tässä esimerkissä kaikilla kolmella menetelmällä on saatu erisuuruiset anaerobiset kynnystehot. Eri menetelmät on esitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa. Mmol/l, millimoolia litrassa; W, watti.

Testituloksiin voi vaikuttaa testattavasta johtuvat tekijät, olosuhteet tai mittaustekniset asiat. Testiä edeltävä vuorokausi pitäisi olla kuormituksen, ravinnon ja nestetasapainon suhteen mahdollisimman samanlainen joka kerta (Nummela & Peltonen 2018). Esimerkiksi lihasten glykoogenivarastojen täyttöaste vaikuttaa veren laktaattipitoisuuteen (Bentley ym. 2007; Faude ym. 2009; Mäestu ym. 2005). Testi tulisi tehdä aina samaan vuorokaudenaikaan (Bourdon 2013). Ympäristön lämpötila voi vaikuttaa tuloksiin, joten ulkoiset olosuhteet tulisi vakioida mahdollisimman hyvin (de Barros ym. 2011; Tyka ym. 2009). Laktaattimittauksissa tulee käyttää myös samaa näytteenottoa paikkaa sekä mittalaitetta, koska eri mittausmenetelmät vaikuttavat tuloksiin (Bonaventura ym. 2015; Bourdon 2013; Buckley ym. 2003; Faude ym. 2009; Nummela & Peltonen 2018).

3.2 Anaerobisen kynnyksen määrittäystapa Suomessa

Suomessa kynnysmäärittäminen perustuu suoran $VO_{2\max}$ -testin yhteydessä mitatuista veren laktaattipitoisuuksista muodostuneeseen laktaattikäyrään suhteessa kuormitustehoon.

Aerobinen kynnyks määritetään kohtaan, jossa laktaattipitoisuus on noussut 0,3 mmol/l testin matalimmasta laktaattipitoisuudesta. Aerobisen kynnyksen jälkeen laktaattipitoisuus kasvaa lineaarisesti kuormitustehon kasvaessa anaerobiselle kynnykselle asti, jolloin laktaattikäyrässä havaitaan yleensä selkeä muutoskohta. Tämän muutoskohdan objektiivisen määrittämisen helpottamiseksi Suomessa käytetään lineaarisovitemenetelmää, jossa anaerobinen kynnyks määritetään kahden lineaarisovitteen leikkauspisteen avulla (kuva 3). Ensimmäinen lineaarisovite kulkee aerobisen kynnyksen ja sitä seuraavan kuormaportaan laktaattipisteen kautta. Toinen lineaarisovite kulkee laktaattipisteen, jossa laktaatin nousu on edellisestä laktaattipisteestä yli 0,8 mmol/l, ja sen jälkeisten laktaattipisteiden kautta. Anaerobinen kynnyks sijaitsee näiden kahden lineaarisovitteen leikkauspistettä vastaavassa laktaattikäyrän ja kuormitustehon kohdalla. (Nummela & Peltonen 2018a)



KUVA 3. Suomessa kynnyksmäärittäksessä käytetty lineaarisovitemenetelmä. Kuvassa näkyy aerobisen kynnyksen (AerK) tasolla harmaa vaakasuora viiva ja anaerobisen kynnyksen (AnK) määrittämiseksi piirretyt lineaarisovitteet (harmaat katkoviivat). Laktaattikäyrä on musta viiva, joka on piirretty mitattujen laktaattipisteiden (harmaat ympyrät) väliin. Mmol/l, millimoolia litrassa; W, watti.

Suomessa käytettiin aiemmin anaerobisen kynnyksen määrittämisessä laktaatti- ja ventilaatiokynnysten yhdistelmää, jossa painotettiin nousevatehoisen kuormituksen laktaattikäyrässä tapahtuvaa toista jyrkempää nousukohtaa (Nummela 2010). Nykyään laktaatti- ja ventilaatiokynnykset määritetään erikseen, koska ventilaatiokynnyksiin vaikuttaa useat eri säätelytekijät ja siksi ne eivät ole aina samassa kohtaa laktaattikynnysten kanssa (Nummela & Peltonen 2018a).

Kainlauri (2019) on tutkinut fysiologisten muuttujien toistettavuutta juoksukuormituksessa anaerobisella kynnysnopeudella sekä K-Lab-ohjelmiston toimivuutta anaerobisen kynnyksen määrittämisessä. K-Lab-ohjelmisto on kehitetty Suomessa ja se käyttää lineaarisovitteisiin perustuvaa kynnysmäärittämis menetelmää. K-Lab-ohjelmiston avulla määritetyillä kynnysnopeuksilla tehdyillä tasavauhtisilla kuormituksilla oli melko paljon hajontaa laktaattipitoisuuksien nousun suuruudessa, eikä anaerobisen kynnyksen nopeudella saavutettu MLSS:a kaikilla tutkittavilla. (Kainlauri 2019) Mäkisen (2019) mukaan K-Labin lineaarisovitemenetelmä ei ollut luotettava anaerobisen kynnyksen määrittämisessä, kun oletuksena oli, että anaerobisen kynnyksen tulisi vastata MLSS:a. K-Lab-ohjelmistolla määritetty anaerobinen kynnys yliarvioi MLSS:a 44 %:lla tutkittavista (Mäkinen 2019).

3.3 Anaerobisen kynnyksen muita määrittämenetelmiä

Anaerobisen kynnyksen määrittämiseksi on maailmalla kehitetty useita kymmeniä erilaisia menetelmiä. Veren laktaattipitoisuuden mittaamiseen perustuvat menetelmät ovat erittäin yleisiä kuntotestauksessa. (Faude ym. 2009; Heuberger ym. 2018; Jamnick ym. 2020). Laajasti käytettyjä ja hyväksytyjä laktaattipitoisuuden muutoksiin nousevatehoisessa kuormituksessa perustuvia kynnysmäärittämenetelmiä ovat esimerkiksi kiinteään laktaattipitoisuuteen perustuvat menetelmät ja laktaattikäyrän muotoon perustuvat menetelmät, kuten D_{max} ja $modD_{max}$ -menetelmät (Jamnick ym. 2020).

3.3.1 Kiinteät laktaattikynnykset

Tiettyä laktaattipitoisuutta vastaavaa tehoa tai nopeutta on käytetty nousevatehoisessa kuormituksessa anaerobisen kynnyksen tasona. 4 mmol/l on yleisin laktaattipitoisuus, jonka on oletettu vastaavan anaerobista kynnystä, mutta myös muita laktaattipitoisuuden arvoja, kuten 3 ja 3,5

mmol/l, on käytetty. Tällaista tiettyyn laktaattipitoisuuteen perustuvaa kynnystä kutsutaan kiinteäksi laktaattikynnykseksi tai OBLA:ksi (the onset of blood lactate accumulation) (Bosquet ym. 2002; Bourdon 2013; Svedahl & MacIntosh 2003).

OBLA:n (4 mmol/l) ja kestävyysuorituskyvyn välille on löytynyt vahva korrelaatio useassa lajissa (Bourdin ym. 2017; Heuberger ym. 2018; Ingham ym. 2002; Nevill ym. 2011; Nicholson & Sleivert 2001; Wahl ym. 2021). OBLA (3 mmol/l) (Nevill ym. 2011) ja OBLA (3,5 mmol/l) (Turnes ym. 2019) on korreloinut vahvasti ainakin soutuergometrisuorituskyvyn kanssa. OBLA:n (4 mmol/l) ja MLSS:n välille on löytynyt vahva korrelaatio (Beneke 1995; Caen ym. 2021; Hauser ym. 2014; Jamnick ym. 2018; Pallarés ym. 2016; Wahl ym. 2021). Myös OBLA (3,5 mmol/l):n ja MLSS-tehon välille on löytynyt vahva korrelaatio (Figueira ym. 2007; Grossl ym. 2012). Muista poiketen Płoszczyca ym. (2020) tutkimuksessa korrelaatio MLSS-tehon ja OBLA:n (4 mmol/l) välillä oli vain kohtalainen.

Joissakin tutkimuksissa OBLA (4 mmol/l) (Denadai ym. 2004; Wahl ym. 2021) tai OBLA (3,5 mmol/l) -teho (de Souza ym. 2012; Grossl ym. 2012; Hauser ym. 2014) ja MLSS-teho ovat myös vastanneet hyvin toisiaan, mutta osassa tutkimuksista OBLA (4 mmol/l)- ja MLSS-teho ovat eronneet merkitsevästi toisistaan (Beneke 1995; Caen ym. 2021; Jamnick ym. 2018; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020). Esimerkiksi soutuergometrikuormituksissa kolmen minuutin kuormaportaita käytettäessä OBLA (4 mmol/l) yliarvioi MLSS-tehoa (Beneke 1995; Bourgois & Vrijens 1998; Possamai ym. 2021). Yksilölliset erot OBLA:n ja MLSS:n vastaavuudessa ovat olleet suuria (de Souza ym. 2012; Grossl ym. 2012; Hauser ym. 2014). Figueiran ym. (2007) tutkimuksen mukaan OBLA (3,5 mmol/l):n validiteetti MLSS-tehon ennustamisessa riippuu kuormitustavasta. Polkupyöräergometrikuormituksessa OBLA:a vastaava teho oli merkitsevästi matalampi kuin MLSS-teho. Juoksumattotesteissä ei kuitenkaan ollut eroa OBLA:a vastaavan nopeuden ja MLSS-nopeuden välillä. Ero lajien välillä OBLA:n validiteetissa oli yhteydessä eroihin MLSS-laktaattipitoisuudessa (pyöräily $5,8 \pm 2,1$ mmol/l, juoksu $3,8 \pm 0,9$ mmol/l). (Figueira ym. 2007). Veren laktaattipitoisuus riippuu kuormitustavasta ja vaihtelee käytössä olevan lihasmassan määrän mukaan (Beneke ym. 2001).

OBLA (4 mmol/l):n on havaittu olevan toistettava menetelmä (Cerezuela-Espejo ym. 2018; Heuberger ym. 2018; Hoefellmann ym. 2015; Pallarés ym. 2016). Sen sijaan Mortonin ym. (2011) mukaan OBLA (4 mmol/l):n toistettavuus oli vain kohtalainen ja tilastollinen merkit-

sevyys havaita pienet muutokset kynnyksessä oli alhainen. OBLA on objektiivinen ja yksinkertainen menetelmä, mutta sen virhelähteenä on ravinnon, edeltävän harjoittelun ja harjoittelustaustan vaikutukset veren laktaattipitoisuuteen kuormituksessa (Bourdon 2013; Faude ym. 2009; Svedahl & MacIntosh 2003). OBLA ei myöskään huomioi yksilöllisyyttä veren laktaattipitoisuuden muutoksissa (Bosquet ym. 2002; de Souza ym. 2012). Lisäksi laktaattipitoisuuden mittaamiseen liittyvät asiat, kuten näytteenottoaika ja laktaattimittarin analysointimenetelmä vaikuttavat laktaattipitoisuuteen ja siten anaerobisen kynnyksen tulokseen käytettäessä kiinteää laktaattipitoisuutta kynnyksen määrittämiseen (Bonaventura ym. 2015; Bourdon 2013; Buckley ym. 2003; Faude ym. 2009).

3.3.2 Laktaattikäyrän muotoon perustuvia menetelmiä

Cheng ym. (1992) ovat kehittäneet D_{\max} -menetelmän anaerobisen kynnyksen määrittämiseksi nousevatehoisesta kuormitustestistä. Menetelmässä mitatuista laktaattipisteistä tehdään kolmannen asteen polynomisovite, jonka alku- ja loppupäiden väliin piirretään suora. Anaerobinen kynnys on laktaattikäyrän kohta, joka on kauimpana käyrän päiden väliin piirretystä suorasta viivasta. Tämän menetelmän haittapuolena on, että anaerobisen kynnyksen kohtaan käyrällä vaikuttaa testin aloitus- ja lopetuskuorman teho tai nopeus (Chalmers ym. 2015; Faude ym. 2009).

D_{\max} -menetelmän on todettu korreloivan hyvin kestävyysuorituskyvyn kanssa (Heuberger ym. 2018; Nicholson & Sleivert 2001). D_{\max} -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnystehon ja MLSS-tehon välillä on löydetty vahva korrelaatio (Caen ym. 2021; Czuba ym. 2009; Jammnick ym. 2018; Płoszczyca ym. 2020), mutta myös matalaa korrelaatiota on raportoitu (Pallarés ym. 2016). MLSS-teho on vastannut hyvin D_{\max} -menetelmällä määritettyä kynnystehoa (Czuba ym. 2009; de Souza ym. 2012; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020) yksilöllisen vaihtelun ollessa vähäistä (Płoszczyca ym. 2020). De Souza ym. (2012) havaitsivat kuitenkin huomattavaa yksilöllistä vaihtelua D_{\max} :n ja MLSS:n vastaavuudessa. Jammnick ym. (2018) ja Caen ym. (2021) tutkimuksessa D_{\max} -menetelmä aliarvioi MLSS-tehoa.

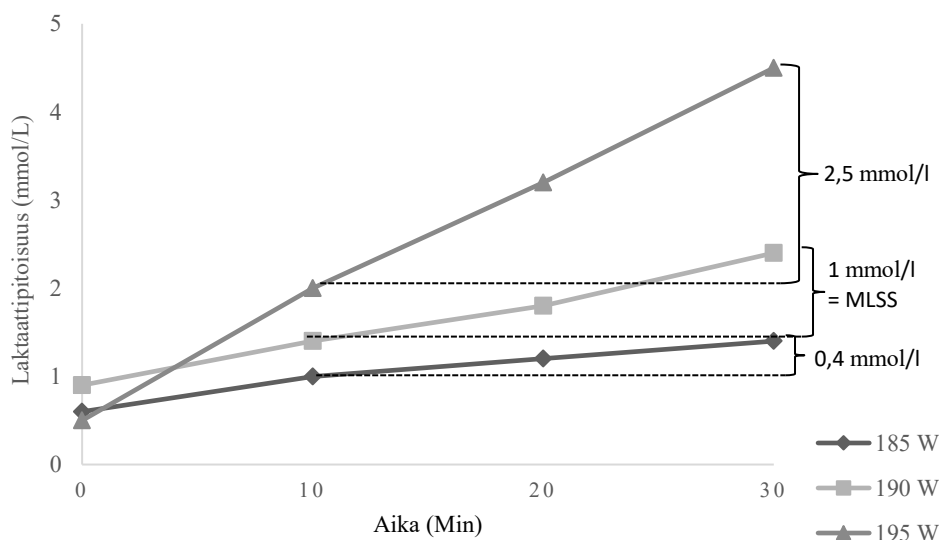
Useissa tutkimuksissa D_{\max} -menetelmän on todettu olevan hyvin toistettava (Cerezuela-Espejo ym. 2018; Heuberger ym. 2018; Morton ym. 2011). D_{\max} -menetelmällä pystyttiin myös havaitsemaan pienemmät muutokset anaerobisessa kynnyksessä kuin muilla menetelmillä (Morton ym. 2011). Toisaalta Pallarés ym. (2016) mukaan D_{\max} -menetelmän toistettavuus on huono.

Modifioitu D_{\max} -menetelmä ($\text{mod}D_{\max}$) on muunnelmä D_{\max} -menetelmästä. Testin aloitustehon vaikutus on pyritty poistamaan piirtämällä suora viiva laktaattikäyrän aerobisen kynnyksen (0,4 mmol/l nousukohta perustasosta) ja loppupään väliin. Kuitenkin myös $\text{mod}D_{\max}$ -menetelmässä testin lopetusteho ja -laktaatti vaikuttavat kynnysmäärittelyyn. (Bishop ym. 1998; Chalmers ym. 2015) Menetelmä korreloi hyvin kestävyys suorituskyvyn kanssa (Bishop ym. 1998; Heuberger ym. 2018) ja on toistettava (Heuberger ym. 2018). Płoszczyca ym. (2020) sekä Caen ym. (2021) löysivät korkean korrelaation MLSS-tehon ja $\text{mod}D_{\max}$ -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen välillä. $\text{Mod}D_{\max}$ -menetelmällä määritetty anaerobinen kynnysteho kuitenkin yliarvioi MLSS-tehoa (Caen ym. 2021; Płoszczyca ym. 2020). Bourdonin ym. (2018) mukaan kaikilla muilla paitsi 10 minuutin pituisilla kuormaportailta $\text{mod}D_{\max}$:lla määritetyn anaerobisen kynnyksen teho oli selkeästi korkeampi kuin MLSS. Seitsemän minuutin kuormaportaat yliarvioivat anaerobisen kynnyksen tasoa 4,3 % ja kolmen minuutin kuormaportaat peräti 17,6 %.

4 MAKSIMAALINEN LAKTAATIN TASAPAINO

MLSS on korkein veren laktaattipitoisuus ja kuormitusteho tai nopeus, jota pystytään ylläpitämään pitkäkestoisessa suorituksessa ilman veren laktaattipitoisuuden jatkuvaa nousua. MLSS-teholla liikuttaessa laktaatin tuotto ja poisto pysyvät tasapainossa. MLSS:a pidetään anaerobisen kynnyksen kriteerinä. (Beneke 2003b; Billat ym. 2003; Binder ym. 2008; Bourdon ym. 2018) Myös hapenkulutus pysyy tasapainossa MLSS-teholla liikuttaessa (Baron ym. 2003; Iannetta ym. 2018; Keir ym. 2015; Maturana ym. 2016; Pringle & Jones 2002). Kaikki fysiologiset muuttujat, kuten esimerkiksi syke, eivät kuitenkaan välttämättä pysy tasapainossa MLSS-tehon kuormituksessa (Baron ym. 2003; Czuba ym. 2009). MLSS-teho korreloi vahvasti kestävyys-suorituskyvyn (Possamai ym. 2021) ja VO_{2max} -testin viimeisen eli maksimaalisen kuorman tehon kanssa (Beneke ym. 2000; Czuba ym. 2009).

MLSS-teho määritetään tasavauhtisesta 30 minuuttia kestävästä suorituksesta mittaamalla veren laktaattipitoisuutta 5–10 minuutin välein. MLSS on korkein teho tai nopeus, jolla veren laktaattipitoisuus ei nouse enempää kuin 1 mmol/l testin viimeisen 20 minuutin aikana (kuva 4). (Beneke 2003b; Faude ym. 2009) MLSS-tehon määrittäminen vaatii yleensä useamman 30 minuutin kestoisen testin, minkä vuoksi on pyritty löytämään luotettava tapa laktaatin tasapainon määrittämiseksi suorasta VO_{2max} -testistä anaerobisen kynnyksen avulla (Beneke 2003b).



KUVA 4. Maksimaalisen laktaatin tasapainon (MLSS) määrittäminen. Maksimaalisen laktaatin tasapainoteho on tässä esimerkissä 190 W, jolla laktaattipitoisuuden muutos 10 ja 30 minuutin välillä on 1 mmol/l. Mmol/l, millimoolia litrassa; Min, minuutti; W, watti.

Erilaiset suoran VO_{2max} -testin kuormitusmallit ja anaerobisen kynnyksen määritysmenetelmät voivat kuitenkin tuottaa toisistaan ja MLSS:n määryksestä poikkeavia tuloksia (Beneke 1995; Beneke 2003b; Bourdon ym. 2018; Hauser ym. 2014; Jamnick ym. 2018; Possamai ym. 2021; Yaeger ym. 2018). Esimerkiksi nousevatehoisessa soutuergometrikuormituksessa kolmen minuutin kuormaportaita käytettäessä anaerobisen kynnysmääryksen on todettu yliarvioivan MLSS-tehoa (Beneke 1995; Bourdon ym. 2018; Possamai ym. 2021). Bourdonin ym. (2018) tutkimuksessa MLSS-tehon ja anaerobisen kynnyksen keskimääräinen ero väheni kuormaportaita pidennettäessä. Toisaalta anaerobinen kynnysteho on kolmen minuutin portailla pyöräergometrikuormituksissa vastannut hyvin MLSS-tehoa (Czuba ym. 2009; Płoszczyca ym. 2020). Yaegerin ym. (2018) mukaan suora VO_{2max} -testi kahden minuutin kuormaportaita ja 40 watin kuormanostolla yliarvioi MLSS-tehoa verrattuna viiden minuutin kuormaportaisiin 10 watin nostoilla, kun nousevatehoinen kuormitus tehtiin lähellä arvioitua anaerobista kynnystä sen molemmien puolin. Lisäksi VO_{2max} -testin lyhyemmät kuormaportaat suuremmilla kuormaportaiden nostoilla tuottivat isomman vaihtelun määritettyihin anaerobisiin kynnysiin verrattuna pidempiin kuormaportaisiin pienemmällä kuormaportaiden nostolla (Yaeger ym. 2018). MLSS-testissä verinäytteenottoon tarvittavat tauot nostavat MLSS-tehoa verrattuna ilman taukoja mitattuun tehoon (Beneke ym. 2003).

MLSS-tehoa vastaava laktaattipitoisuus on keskimäärin 4 mmol/l (Billat ym. 2003). Laktaattipitoisuudessa MLSS-teholla on kuitenkin havaittu suuria yksilöllisiä vaihteluita. MLSS-tehon laktaattipitoisuuden ei ole todettu olevan yhteydessä suorituskykyyn. (Beneke ym. 2000) MLSS-tehon sekä MLSS-tehoa vastaavan sykkeen on todettu olevan toistettava ja päiväkohtaisen vaihtelun olevan vähäistä. Sen sijaan laktaattipitoisuus MLSS-teholla vaihtelee enemmän päiväkohtaisesti ja toistettavuus on huonompi. MLSS-tehon päiväkohtainen vaihtelu ei riipu MLSS-tehon suuruudesta. (Hauser ym. 2013)

5 FYSIOLOGISET MUUTTUJAT ANAEROBISEN KYNNYKSEN TASOLLA

5.1 Laktaattipitoisuus anaerobisen kynnyksen tasolla

Laktaattipitoisuus anaerobisella kynnyksellä on yleisesti 2,5–4,0 mmol/l (Nummela & Peltonen 2018a). D_{\max} -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen veren laktaattipitoisuus on ollut keskimäärin 2,5 mmol/l soutuergometrillä (Boland ym. 2021), 2,6–2,8 mmol/l polkupyöräergometrillä (Caen ym. 2021; Czuba ym. 2009; Pallares ym. 2016) ja 3,4–3,7 mmol/l juoksumatolla (Cerezuela-Espejo ym. 2018; de Souza ym. 2012). $ModD_{\max}$ -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen laktaattipitoisuus on ollut keskimäärin 3,1–4,5 mmol/l soutuergometrillä (Bourdon ym. 2018; Tran ym. 2015; Vogler ym. 2010) ja polkupyöräergometrillä 4,3 mmol/l (Caen ym. 2021).

MLSS-tehoa vastaava veren laktaattipitoisuus on keskimäärin 4 mmol/l, mutta vaihtelu on suurta yksilöiden välillä (Beneke ym. 2000; Billat ym. 2003). Laktaattipitoisuus MLSS-teholla on yksilöiden välillä vaihdellut soutuergometrillä 2,2–4,1 mmol/l (keskiarvo 3,0 mmol/l) (Beneke 1995), polkupyöräergometrillä 1,9–10,6 mmol/l (keskiarvo 3,5–6,2 mmol/l) (Baron ym. 2003; Beneke ym. 2000; Billat ym. 1994; Czuba ym. 2009; Grossl ym. 2012; Hauser ym. 2013; Hauser ym. 2014; Iannetta ym. 2018; Iannetta ym. 2022; Maturana ym. 2016; Pallares ym. 2016) ja pyörällä 2,4–10,5 mmol/l (keskiarvo 5,4–6,7 mmol/l) (Harnish ym. 2000; Van Schuylenbergh ym. 2004). MLSS:n laktaattipitoisuus on ollut keskimäärin 2,2–4,3 mmol/l juoksumatolla (de Souza ym. 2012; Smith & Jones 2001) ja 2,7–3,2 mmol/l soutuergometrillä (Beneke 1995; Beneke ym. 2001; Bourdon ym. 2018; Possamai ym. 2021).

Laktaattipitoisuus vaihtelee myös yksilöllisesti eri tavalla MLSS-teholla suoritettuna kuormituksen aikana. Joillakin yksilöillä laktaattipitoisuus on noussut kuormituksen aikana MLSS-teholla ja joillakin puolestaan laskenut. Laktaattipitoisuuden vaihtelu MLSS-teholla tehdyn kuormituksen aikana ei ollut yhteydessä maksimilaktaattipitoisuuteen, maksimisuorituskykyyn, $VO_{2\max}$:oon eikä MLSS-tehoon. (Van Schuylenbergh ym. 2004) Smekalin ym. (2012) mukaan MLSS-laktaattipitoisuus korreloi maksimilaktaattipitoisuuden kanssa. MLSS-laktaattipitoisuus ei kuitenkaan korreloinut MLSS-tehon kanssa (Hauser ym. 2014; Smekal ym. 2012). MLSS-laktaattipitoisuuden ei ole myöskään todettu olevan yhteydessä suorituskykyyn (Beneke ym. 2000; Smekal ym. 2012), eikä sukupuoleen (Smekal ym. 2012).

Czuban ym. (2009) tutkimuksessa veren laktaattipitoisuus oli merkitsevästi korkeampi polkupyöräergometrillä tehdyssä MLSS-tehon kuormituksessa kuin D_{\max} -menetelmällä määritetyllä kynnysteheolla kolmen minuutin kuormaportailta tehdyssä nousevatehoisessa testissä, vaikka MLSS-tehossa ja D_{\max} -kynnysteheossa ei ollut eroa. Laktaattipitoisuuden ero johtuu Czuban ym. (2009) mukaan siitä, että veren laktaattipitoisuus ehtii nousta vasta pidemmän kuormituksen aikana, koska laktaatti-ionien siirtymiseen lihaksen sisältä verenkiertoon menee aikaa. Kolmen minuutin kuormaportaiden aikana lihastyössä syntynyt laktaatti ei ehdi siirtyä verenkiertoon niin, että verestä mitattu laktaattipitoisuus vastaisi lihaksen laktaattipitoisuutta. Jo aiemmin saman johtopäätöksen teki Van Schuylenbergh ym. (2004), joiden tutkimuksessa MLSS-tehon laktaattipitoisuus oli korkeampi kuin $\text{mod}D_{\max}$ -menetelmällä määritetyllä kynnystasolla, vaikka he käyttivät kuuden minuutin pituisia kuormaportaita nousevatehoisessa kilpapyörillä tehdyssä testissä. Myös Caen ym. (2021) tutkimuksessa veren laktaattipitoisuus oli korkeampi MLSS-teholla tehdyssä polkupyöräergometrikuumituksessa kuin D_{\max} -, $\text{mod}D_{\max}$ - ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetyillä kynnyksillä. Sen sijaan Bourdon ym. (2018) huomasi soutuergometrillä tehdyissä testeissä laktaattipitoisuuden olevan alhaisempi MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa kuin $\text{mod}D_{\max}$:lla määritetyllä kynnyksellä.

Veren laktaattipitoisuuteen vaikuttaa lihasten glykogeenipitoisuus, joka riippuu edeltävästä harjoittelusta sekä ravinnosta (Bourdon 2013; Hauser ym. 2013; Svedahl & MacIntosh 2003). Myös yksilölliset ominaisuudet ja harjoittelusta vaikuttavat veren laktaattipitoisuuteen kuormituksen aikana (Fabre ym. 2010; Faude ym. 2009; Figueira ym. 2007). Paljon aerobista kestävyysharjoittelua tehneillä on usein matalammat veren laktaattipitoisuudet kuin paljon anaerobista harjoittelua tehneillä yksilöillä (Faude ym. 2009). MLSS-laktaattipitoisuus riippuu kuormituksessa käytettävän lihasmassan määrästä. Mitä pienempi lihasmassa työskentelee suorituksessa, sitä korkeampi on MLSS-laktaattipitoisuus. (Beneke ym. 2001)

5.2 Syke ja hapenkulutus anaerobisen kynnyksen tasolla

Czuban ym. (2009) tutkimuksessa sekä VO_2 että syke olivat korkeampia MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa kuin D_{\max} -menetelmällä määritetyllä kynnysteheolla kolmen minuutin kuormaportailta tehdyssä nousevatehoisessa testissä. MLSS-teholla suoritettussa kuormituksessa syke nousi viimeisen 20 minuutin aikana keskimäärin seitsemän lyöntiä.

Sykkeen nousun ja laktaattipitoisuuden nousun välillä löytyi positiivinen korrelaatio MLSS-teholla tehdyn kuormituksen viimeisen 20 minuutin aikana. Myös VO_2 nousi poikkeuksellisesti tässä tutkimuksessa MLSS-teholla tehdyn kuormituksen aikana, minkä vuoksi tutkijat arvelivat, että yksi selitys sykkeen nousulle pitkäkestoisen suorituksen aikana voi olla lihastyön taloudellisuuden heikentyminen väsymyksen kertyessä. Päinvastoin kuin Czuban ym. (2009) tutkimuksessa VO_2 on yleensä pysynyt tasapainossa MLSS-teholla (Baron ym. 2003; Iannetta ym. 2018; Keir ym. 2015; Maturana ym. 2016; Pringle & Jones 2002). Myös Baron ym. (2003) havaitsivat, että syke ei saavuta tasapainoa laktaattipitoisuuden tavoin MLSS-teholla tehdyn kuormituksen aikana. Tutkijat arvelivat sykkeen nousun johtuvan kuormituksen aikana havaitusta kehon lämpötilan noususta. Caen ym. (2021) tutkimuksessa syke oli korkeampi MLSS-teholla tehdyn kuormituksen lopussa kuin D_{max} -, $modD_{max}$ - ja OBLA (4 mmol/l)-menetelmällä määritetty kynnysyke.

Toisaalta anaerobisissa kynnysykyissä ei ole aina havaittu eroa MLSS-teholla tehdyn kuormituksen sykkeeseen ja joissakin tutkimuksissa anaerobinen kynnysyke on ollut jopa korkeampi kuin MLSS-syke. Bourdonin ym. (2018) tutkimuksessa kolmen ja neljän minuutin kuormaportilla $modD_{max}$ -menetelmällä määritetyt kynnysykyet olivat korkeampia kuin MLSS-syke, mutta ero oli vain neljä lyöntiä minuutissa. Pidemmillä kuormaportilla tehdyissä testeissä kynnysykyissä ei ollut eroa MLSS-sykkeeseen. Teho anaerobisella kynnyksellä oli sitä korkeampi mitä lyhyemmät kuormaportaat olivat, joten tutkijat päättelivät, että syke vastasi tehoa riippumatta kuormaportaan pituudesta. VO_2 oli korkeampi kolmen, neljän ja viiden minuutin pituisilla kuormilla määritetyissä kynnyksissä verrattuna MLSS-teholla tehdyn kuormituksen VO_2 :een. Grossl ym. (2012) eivät havainneet sykkeessä ja VO_2 :ssa eroa OBLA (3,5 mmol/l) -kynnyksellä verrattuna MLSS-teholla suoritettuun kuormitukseen, vaikka kynnysmääritys oli tehty kolmen minuutin kuormaportilla. Huomionarvoista on, että myöskään veren laktaattipitoisuuksissa tai kuormitustehoissa ei ollut eroa. Tosin kuormitustehojen yksilöllinen vaihtelu oli suurta. Myöskään Van Schuylenbergh ym. (2004) tutkimuksessa ei ollut eroja eri menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnysykyiden ja MLSS-sykyiden välillä.

6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vastaako VO_{2max} -testistä määritetty anaerobisen kynnyksen teho tasavauhtisilla kuormituksilla määritettyä MLSS-tehoa. Anaerobisen kynnyksen määrittämiseen käytettiin Suomessa kehitettyä lineaarisovitteisiin perustuvaa menetelmää sekä D_{max} -, $modD_{max}$ - ja OBLA (3 mmol/l) ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmiä. Eri menetelmillä määritettyjä anaerobisia kynnyksiä vertailtiin keskenään ja MLSS:n kanssa. Kestävyysvalmennuksessa on tärkeää tietää vastaako yleisesti käytetyn anaerobisen kynnysmäärityksen tulokset haluttua fysiologista tilaa, kuten maksimaalista laktaatin tasapainoa. Tällä hetkellä tutkimustulokset eivät ole yksiselitteisiä.

Tutkimuskysymys 1: Vastaako 30 minuutin tasavauhtisten kuormitusten avulla määritetty MLSS-teho lineaarisovite-, D_{max} -, $modD_{max}$ -, OBLA (3 mmol/l) tai OBLA (4 mmol/l) -menetelmällä määritettyä anaerobisen kynnyksen tehoa?

Hypoteesi: D_{max} - ja OBLA (3 mmol/l)-menetelmällä määritetyt tehot vastaavat MLSS-tehoa. Lineaarisoivite-, $modD_{max}$ - ja OBLA (4 mmol/l)-menetelmällä määritetyt tehot eivät vastaa MLSS-tehoa.

Perustelu: MLSS-teho on vastannut hyvin D_{max} -menetelmällä määritettyä tehoa (Czuba ym. 2009; de Souza ym. 2012; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020) yksilöllisen vaihtelun ollessa vähäistä (Płoszczyca ym. 2020). Lineaarisoivitemenetelmällä määritetty anaerobinen kynnys ei ennustanut luotettavasti MLSS-tehoa (Kainlauri 2019; Mäkinen 2019). $modD_{max}$ -menetelmällä määritetty teho yliarvioi MLSS-tehoa (Bourdon ym. 2018; Płoszczyca ym. 2020). OBLA (3,5 mmol/l) on vastannut hyvin MLSS-tehoa, mutta yksilölliset erot ovat olleet suuria (de Souza ym. 2012; Grossl ym. 2012; Hauser ym. 2014). Joissakin tutkimuksissa OBLA (4 mmol/l)- ja MLSS-teho ovat vastanneet hyvin toisiaan (Denadai ym. 2004; Wahl ym. 2021), mutta osassa tutkimuksista OBLA (4 mmol/l) -teho ja MLSS-teho ovat eronneet toisistaan (Beneke 1995; Caen ym. 2021; Jamnick ym. 2018; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020). Soutuergometrikuormituksessa OBLA (4 mmol/l) yliarvioi MLSS-tehoa (Beneke 1995; Bourdon ym. 2018; Bourgois & Vrijens 1998; Possamai ym. 2021). OBLA:n validiteetti riippuu kuormitustavasta (Beneke ym. 2001; Figueira ym. 2007). OBLA (3 mmol/l)-laktaattipitoisuus on lähellä soutuergometrikuormituksessa mitattuja MLSS-laktaattipitoisuuksia (Beneke 1995; Beneke ym. 2001; Boland ym. 2021; Bourdon ym. 2018; Possamai ym. 2021; Tran ym. 2015).

7 MENETELMÄT

7.1 Tutkittavat

Tutkittaviksi rekrytoitiin 24 vähintään kansallisella tasolla kilpailevaa eri soutulajien urheilijaa. Kolme tutkittavaa perui osallistumisensa ennen mittausten aloitusta joko sairastumisen tai aikataulumuutosten takia. Tutkimusmittauksiin osallistui 21 tutkittavaa, joista oli miehiä 9 ja naisia 12. Yhteensä 19 tutkittavaa suoritti kaikki neljä testiä. Yksi tutkittava keskeytti tutkimuksen ensimmäisen testin jälkeen ja yksi tutkittava kolmen testin jälkeen sairastumisen takia.

Rekrytointi toteutettiin elo-syyskuussa vuonna 2022 ottamalla yhteyttä soutuseuroihin ja Melonta- ja Soutuliiton toimintaan osallistuneisiin urheilijoihin sähköpostilla. Lisäksi tutkimuksesta tiedotettiin tutkijan omilla Facebook- ja Instagram-tileillä sekä Suomen Melonta- ja Soutuliiton seuratiedotteessa ja internetsivuilla. Rekrytointikriteerinä oli 18–45 vuoden ikä, vähintään kahden vuoden kestävyysurheilutausta sekä säännöllinen harjoittelu soutaen tai sisäsoutulaitteella, jotta testimuoto oli tutkittaville tuttu. Tutkimusmittauksiin osallistuneilla oli taustallaan kestävyysurheilua keskimäärin 17,1 (9,1) vuotta ja soutuharjoittelua 11,1 (8,1) vuotta. Mittauksiin osallistuneet harjoittelivat keskimäärin 6,1 (2,4) kertaa ja 9,6 (4,1) tuntia viikossa, josta soutuharjoituksia oli keskimäärin 4,1 (2,4) kertaa ja 5,7 (3,4) tuntia viikossa. Tutkittavien taustatiedot on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Tutkimusmittauksiin osallistuneiden taustatiedot keskiarvoina (keskihajonta).

Sukupuoli	Määrä	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)
Miehet	9	34,9 (6,6)	186,7 (6,6)	86,2 (7,8)
Naiset	12	34,5 (5,6)	171,1 (5,9)	69,5 (10,1)
Kaikki	21	34,7 (5,9)	177,8 (9,9)	76,6 (12,4)

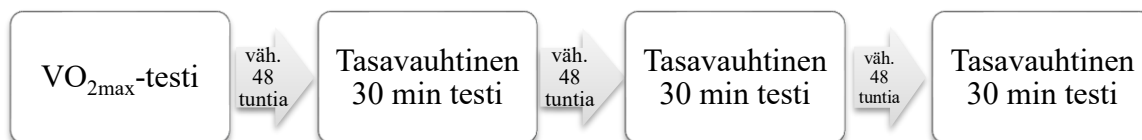
Ennen tutkimuksen aloittamista tutkittaville selvitettiin tutkimuksen tarkoitus, kulku, menetelmät, hyödyt, riskit ja tietosuoja lähettämällä tutkimuksen tiedote ja tietosuojailmoitus sähköpostilla. Ensimmäisellä tutkimuskerralla varmistettiin, että tutkittava oli tutustunut tiedotteeseen ja tietosuojailmoitukseen, minkä jälkeen tutkittaville annettiin allekirjoitettavaksi suostumuslomake tutkimukseen osallistumisesta. Tutkittaville korostettiin tutkimukseen osallistumi-

sen olevan täysin vapaaehtoista sekä mahdollisuutta keskeyttää tutkimus milloin tahansa. Tutkittaville ei maksettu palkkioita, eikä annettu muita etuuksia, mutta he saivat itselleen tutkimuksessa tehtyjen testien tulokset sekä testeistä määritetyt harjoitusalueet. Jyväskylän yliopiston ihmistieteiden eettinen toimikunta antoi tutkimukselle myönteisen lausunnon.

Ensimmäisellä tutkimuskerralla tutkittava täytti terveystesti- ja taustakyselyn (liite 1) (Canadian Society for Exercise Physiology 2017). Terveystestien avulla poissuljettiin maksimaalisen testin estävät terveydelliset vasta-aiheet (Kallinen ym. 2018). Taustakyselyllä kysyttiin kestävyysharjoitteluun liittyviä taustatietoja.

7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, vastaako VO_{2max} -testistä määritetty anaerobisen kynnyksen teho tasavauhtisilla kestävyyskuormituksilla määritettyä MLSS-tehoa. Lisäksi verrattiin anaerobista kynnystä vastaavaa laktaattipitoisuutta, sykettä ja hapenkulutusta MLSS:a vastaavaan laktaattipitoisuuteen, sykkeeseen ja hapenkulutukseen. Tutkittavat tekivät neljä testiä eri päivinä niin, että testien välissä oli vähintään 48 tuntia väliä (kuva 5) (Beneke 2003b; Bourdon ym. 2018; Czuba ym. 2009; Possamai ym. 2021). Ensimmäinen testi oli VO_{2max} -testi, jonka jälkeen tehtiin kolme 30 minuutin kestoista tasavauhtista kestävyystestiä. Ensimmäinen tasavauhtinen testi tehtiin VO_{2max} -testistä lineaarisovitemenetelmällä määritetyllä anaerobisella kynnyksellä (Bourdon ym. 2018). Seuraavat tasavauhtiset testit tehtiin joko kovemmalla tai matalammalla teholla riippuen ensimmäisen tasavauhtisen testin tuloksista.



KUVA 5. Tutkimuksen kulku. Tutkimus sisälsi neljä mittauskertaa, joiden välissä oli vähintään 48 tuntia. Väh., vähintään; Min, minuutti.

Mittaukset suoritettiin syksyn 2022 aikana kolmella eri paikkakunnalla, jotta tutkimukseen saatiin mahdollisimman monta tutkittavaa. Jokaisella paikkakunnalla oli oma ryhmä tutkittavia, jotka kukin suorittivat samat neljä testiä enintään kahden ja puolen viikon kuluessa. Ensimmäinen mittausjakso suoritettiin syyskuussa Helsingin soutustadionilla. Toisen jakson mittaukset tehtiin lokakuussa Tampereen soutukeskuksessa. Kolmas mittausjakso oli marraskuussa soutu- ja melontakeskuksessa Turussa. Jaksot olivat soutajien kesän kilpailukauden jälkeen, kun uusi harjoituskausi oli juuri alkanut.

Tutkimustilanne vakioitiin mahdollisimman tarkasti. Tutkittavat suorittivat yksilöllisesti kaikki testit samaan aikaan vuorokaudesta (± 2 tuntia) (Bourdon 2013). Yhden tutkittavan kohdalla yksi testi suoritettiin aamupäivän sijaan iltapäivällä laiteongelmien takia, jolloin tämän yksittäisen testin ajankohdan ero muihin testeihin oli viisi tuntia. Jokaisella mittauskerralla käytettiin tutkittavakohtaisesti samaa soutuergometriä ja samaa soutuergometrin vastuserrointa. Testejä edeltävä lämmittely oli vakioitu ja suhteutettu tutkittavan kuntotason. Ulkoiset olosuhteet pyrittiin vakioimaan mahdollisimman tarkasti. Testihuoneen lämpötila mitattiin ja pyrittiin pitämään mahdollisimman samana (de Barros ym 2011; Tyka ym. 2009). Testihuoneen tuuletusmahdollisuudet pidettiin joka kerta samanlaisina. Yhdellä tutkittavalla viimeinen mittauskerta jouduttiin suorittamaan kuusi astetta korkeammassa lämpötilassa, jolloin käytettiin tuuletinta viilennyskeinona suorituksen aikana. Myös ilmankosteus mitattiin kaikilla testikerroilla. Ennen mittauksia tutkittaville lähetettiin ohjeet testeihin valmistautumiseen (liite 2). Valmistautumisohjeissa neuvottiin harjoittelemaan vain kevyesti testiä edeltävänä päivänä. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään raskasta ateriaa ja kofeiinia kolme tuntia ennen testiä sekä nauttimaan riittävästi hiilihydraatteja ja pitämään ruokavalio mahdollisimman samanlaisena koko testijakson ajan, etenkin jokaista testiä edeltävänä päivänä. (Bentley ym. 2007; Bourdon 2013; Bourdon ym. 2018; Faude ym. 2009; Nummela & Peltonen 2018a; Possamai ym. 2021)

7.3 Aineiston keräys ja analysointi

Ennen mittauksen aloittamista ensimmäisellä testikerralla tutkittavat täyttivät tutkimukseen osallistumisen suostumuslomakkeen sekä terveys- ja taustakyselyn. Tutkittavilta kirjattiin ylös pituus ja mitattiin paino 0,1 kg tarkkuudella. Paino mitattiin ennen jokaista mittauskertaa. Punnitus suoritettiin joka kerta vain testivaatteissa ilman kenkiä.

Kaikki testit tehtiin ilmanvastuksella toimivalla soutuergometrillä (Concept2 Model D, Morrisville, VT, USA). Ensimmäisellä kerralla tutkittavat tekivät suoran VO_{2max} -testin maksimaaliseen suoritukseen asti. Ennen VO_{2max} -testiä tehtiin viiden minuutin kestoisen lämmittelysoutuergometrillä korkeintaan varsinaisen testin aloitusteholla. Lämmittelyn tarkoitus oli testata päälle puettavien valjaiden säätöä ja ergometrin asetuksia. Tutkittavat asettivat ergometriin itselleen sopivan vastuskertoimen ja jalkatukien korkeuden, jotka vakioitiin kaikkiin testeihin (Possamai ym. 2021). Lämmittelyn jälkeen oli tauko, jonka aikana tutkittavalle asetettiin mittalaitteet päälle.

VO_{2max} -testissä tehtiin kahdeksan nousevatehoista kuormaporrasta, joiden pituus oli neljä minuuttia sisältäen 3,5 minuutin pituisen kuormituksen ja 30 sekunnin tauon verinäytteenottoa varten (Nummela & Peltonen 2018a). Kuormaportaiden tehot määritettiin tutkittavan edellisen 2000 metrin testin perusteella tai hänen 2000 metrin suorituskykynsä arvioitiin muiden testi- tai harjoitusvauhtien perusteella (Bourdon ym. 2018). Eri kuormaportaiden tehojen määrittämisessä käytettiin kuormaporrastaulukkoa (liite 3), johon oli laskettu tehot niin, että ensimmäinen portas oli 40 % arvioidusta 2000 metrin testin keskitehosta, jonka jälkeen seuraavan kuuden kuormaportaan teho kasvoi kukin kahdeksan prosenttia edellisestä kuormaportaan tehosta (Nummela & Peltonen 2018a). Näin jokaiselle tutkittavalle tuli sama määrä kuormaportaita, jolloin testin kesto oli kaikille sama (Jamnick ym. 2018). Kuormaportaat olivat myös suhteessa yhtä raskaita kaikille kuntotasosta riippumatta. Tavoitteena oli myös, että toiseksi viimeinen eli seitsemäs kuormaportas olisi yli anaerobisen kynnystehon. Viimeinen eli kahdeksas kuormaportas oli pituudeltaan kolme minuuttia ja se soudettiin maksimaalisella teholla (Nummela & Peltonen 2018a).

Soutuergometritestissä soutaja joutuu itse säätämään tehon, eikä testaaja pysty sitä ulkoisesti säätämään. Tämän vuoksi tehoa ei nosteta tasaisesti uupumukseen asti, kuten esimerkiksi juoksumatto- tai polkupyöräergometritestissä, jossa testaaja voi säätää halutun nopeuden tai tehon. Sen sijaan soutuergometritestissä viimeinen kuorma soudetaan anaerobisen kynnyksen ylityksen jälkeen maksimaalisena suorituksena (Nummela & Peltonen 2018a). Tutkittavia ohjeistettiin soutamaan kaikki kuormaportaat mahdollisimman tasaisesti tavoiteteholla, joka kerrottiin tutkittavalle aina ennen seuraavan kuormaportaan lähtöä. Tuloksiin kirjattiin kuormaportaan aikainen todellinen keskiteho, joka tallentui ergometrin muistiin. Maksimikuorman osalta tut-

kittavia ohjeistettiin soutamaan mahdollisimman kova keskiteho kolmen minuutin aikana. Testin kokonaiskesto oli 31 minuuttia. Testin jälkeen tutkittava sai tehdä loppuverryttelyn vapaaehtoisella tavalla.

VO_{2max}-testissä mitattiin hapenkulutusta (VO₂), hiilidioksidin tuottoa (VCO₂) ja ventilaatiota (VE) kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla (Oxycon Mobile, Jaeger, Viasys Healthcare, Hoechberg, Saksa) Breath-by-Breath -menetelmällä. Hengityskaasuanalysaattorin mittausyksikkö oli valjaiden avulla tutkittavan selässä (kuva 6). Tutkittavalle puettiin hengitysmaski (Hans Rudolph, Kansas City, USA), johon kiinnitetyn virtausmittarin ja kaasukupillaarin avulla mitattiin ventilaatiota ja hengityskaasujen pitoisuuksia. Virtaus- ja kaasusensori olivat johdolla yhteydessä mittausyksiköihin, jotka puolestaan olivat langattomasti yhteydessä analysaattorin pääyksikköön ja tietokoneeseen. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ohjeiden mukaisesti ennen jokaista testiä. Tulokset ilmoitettiin kuorman viimeisen minuutin keskiarvoina (Nummela & Peltonen 2018).



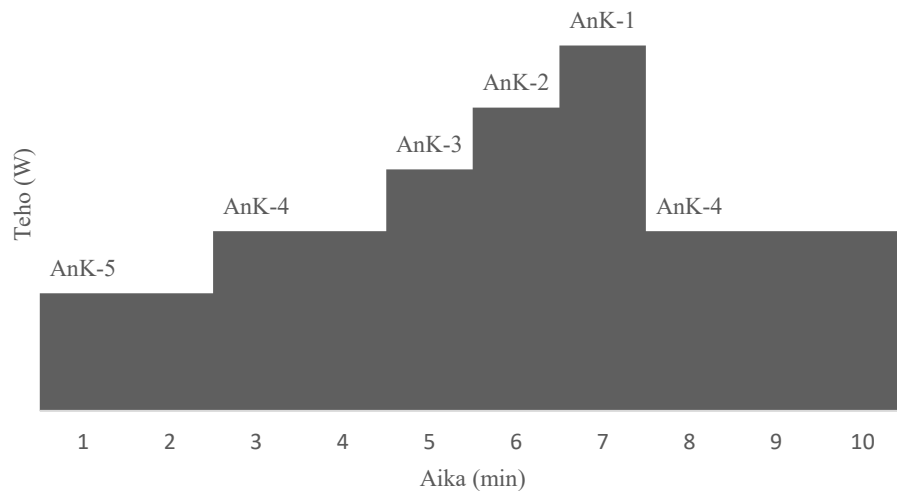
KUVA 6. Soutuergometri ja mittauksissa käytetyn kannettavan hengityskaasuanalysaattorin mittausyksikkö soutajan päälle asetettuna.

Sydämen sykettä mitattiin koko testin ajan sykesensorilla (Polar H10, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi), joka oli yhteydessä hengityskaasuanalysaattoriin. Jokaiselta kuormaportaalta laskettiin viimeisen minuutin keskisyke. Lisäksi syke kirjattiin varmuudeksi joka kuorman lopussa paperille muistiin sykemittarin (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) näytöltä, josta

katsottiin myös testin aikainen maksimisyke. Veren laktaattipitoisuus (mmol/l) mitattiin ja analysoitiin kannettavalla laktaattianalysointilaitteella (Lactate Scout +, EKF Diagnostics, SensLab GmbH, Leipzig, Saksa) sormenpääverenäytteestä ennen testin aloitusta, jokaisen kuormaportaan jälkeen sekä neljä minuuttia testin lopetuksen jälkeen. Valmistajan ilmoittama mittaustarkkuus Lactate Scout + -mittarille on $\pm 0,2$ mmol/l normaaleilla veren hematokriittiarvoilla ja alle 7 mmol/l veren laktaattipitoisuuksilla (EKF Diagnostics 2023). Sama tarkkuus on saatu tutkimuksessa (Bonaventura ym. 2015). Kuormitustuntemusta eli RPE:ta (rating of perceived exertion) kysyttiin jokaisen kuormaportaan jälkeen 0–10-portaisella asteikolla (liite 4) (Foster ym. 1996; Nummela & Peltonen 2018b).

VO_{2max} -testistä määritettiin anaerobinen kynnysteho lineaarisovitemenetelmällä (Nummela & Peltonen 2018). Samalla määritettiin anaerobista kynnystehoa vastaava syke, veren laktaattipitoisuus ja hapenkulutus. Lisäksi määritettiin maksimisuorituskyky viimeisen kuorman keskitehona (W), maksimaalinen hapenotto (l/min ja ml/min/kg) korkeimpana minuutin keskiarvona, maksimisyke (lyöntiä/min) korkeimpana hetkellisenä sykkeenä sekä maksimilaktaattipitoisuus (mmol/l), joka oli korkein testin jälkeen mitattu arvo. Lisäksi VO_{2max} -testistä määritettiin anaerobiset kynnysarvot D_{max} -, $modD_{max}$ -, OBLA (4 mmol/l) - ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä. D_{max} ja $modD_{max}$ määritettiin käyttäen apuna Lactate-E-ohjelmaa (Newell ym. 2007). D_{max} :ia ja $modD_{max}$:ia ei saatu määritettyä kolmelle tutkittavalle. OBLA (4 mmol/l) ja OBLA (3 mmol/l) laskettiin interpoloimalla haluttuja laktaattipitoisuuksia vastaavat arvot.

Tasavauhtiset kestävyystestit tehtiin samalla soutuergometrillä ja samassa paikassa kuin VO_{2max} -testi. Myös kaikki mittalaitteet olivat samoja kaikissa testeissä. Soutuergometrissä käytettiin kaikissa testeissä samoja yksilöllisiä asetuksia. Ennen tasavauhtisia testejä tehtiin kymmenen minuutin kestoinen lämmittely, jossa tehoa nostettiin ensin kevyestä tehosta lähelle anaerobista kynnystehoa ja lopussa soudettiin vielä kevyttä tehoa (kuva 7). Lämmittelyn teho oli suhteutettu anaerobisen kynnyksen tehoon käyttäen apuna VO_{2max} -testin kuormaporrastaulukkoa (liite 3).



KUVA 7. Tasavauhtisten testien lämmittelyprotokolla. Ensin soudettiin kaksi minuuttia noin viisi kuormaporrasta matalammalla teholla kuin anaerobinen kynnys (AnK-5), seuraavat kaksi minuuttia neljä porrasta (AnK-4), seuraava minuutti kolme porrasta (AnK-3), seuraava minuutti kaksi porrasta (AnK-2) ja seuraava minuutti yhden portaan matalammalla teholla kuin anaerobinen kynnys (AnK-1). Tämän jälkeen soudettiin vielä kolme minuuttia neljä kuormaporrasta matalammalla teholla kuin anaerobinen kynnys (AnK-4). Kuormaportaiden tehot katsottiin VO_{2max}-testin kuormaporrastaulukosta (liite 3). W, watti; min, minuutti.

Tasavauhtiset testit kestivät 30 minuuttia. Testin aikana mitattiin ventilaatiota, hengityskaasuja ja sykettä. Tulokset ilmoitettiin minuutin keskiarvoina. Ennen testin aloitusta, 10 ja 20 minuutin jälkeen sekä testin lopussa mitattiin sormenpästä veren laktaattipitoisuus. Testin aikana pidettiin 10 minuutin välein 30 sekunnin tauko verinäytteenottoa varten. Jokaisen 10 minuutin jälkeen kysyttiin tutkittavan kuormitustuntemusta RPE-asteikolla 0–10. (Bourdon ym. 2018)

Ensimmäinen tasavauhtinen testi tehtiin lineaarisovitemenetelmällä määritetyllä anaerobisella kynnysteholla. Tavoitteena oli pitää mahdollisimman tasaista tehoa koko testin ajan. Jos tutkittava ei pystynyt ylläpitämään tavoitetehoa, testi keskeytettiin. Jos testin aikana ei saavutettu laktaatin tasapainoa eli jos laktaatin muutos oli yli 1 mmol/l viimeisen 20 minuutin aikana, niin seuraava tasavauhtinen testi suoritettiin 5–10 % alemmalla teholla. Tehon laskun suuruus riippui siitä, miten kaukana laktaatin tasapainosta oltiin. Jos testattava ei pystynyt suorittamaan ensimmäistä tasavauhtista testiä loppuun tai suoriutui testistä vaivoin, niin tehoa laskettiin 10 %. Jos taas tutkittava pystyi hallittuun suoritukseen, mutta laktaatin muutos oli yli määritetyn

1 mmol/l, tehoa laskettiin 5 %. Jos tutkittava saavutti laktaatin tasapainon jo ensimmäisen tasavauhtisen suorituksen aikana, tehoa nostettiin 5 % seuraavaan testiin. (Possamai ym. 2021) Tavoitteena oli löytää jokaiselle tutkittavalla MLSS-teho. MLSS-teho määritettiin korkeimmaksi tehoksi, jota tasavauhtisessa 30 minuuttia kestävässä kuormituksessa voitiin ylläpitää, veren laktaattipitoisuuden muuttuessa korkeintaan 1 mmol/l viimeisen 20 minuutin aikana. (Beneke 2003b; Faude ym. 2009.)

7.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkimustulokset kirjattiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Excel 2304, Microsoft 365, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) ja tilastolliset analyysit tehtiin SPSS-tilasto-ohjelmalla (IBM SPSS Statistics 28.0, New York, USA). Muuttujien normaalijakautuneisuus tarkistettiin Shapiro-Wilkin testillä. Eri kynnysmääritysmenetelmien riippuvuuksia tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimella ja menetelmien välisiä eroja kahden riippuvan otoksen t-testillä. Tutkittavien painon vaihtelu eri mittauskertojen välillä testattiin toistomittausten varianssianalyysillä. Lämpötilan vaihtelu eri mittauskertojen välillä tarkastettiin Friedmanin testillä, koska lämpötila ei ollut normaalisti jakautunut. Post hoc -korjauksena käytettiin Bonferronin korjausta. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$. Tulokset on ilmoitettu muodossa keskiarvo (keskihajonta).

8 TULOKSET

8.1 Maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulokset

VO_{2max}-testin tulokset maksimisuorituksen ja lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen osalta on esitetty taulukossa 2. Lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen teho oli voimakkaasti yhteydessä maksimisuorituskykyyn eli VO_{2max}-testin viimeisen kuorman keskitehoon (n = 21; r = 0,933; p < 0,001) sekä VO_{2max}:yyn (n = 21; r = 0,949; p < 0,001). Lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen hapenkulutus oli keskimäärin 87,7 (4,5) % VO_{2max}:sta, teho keskimäärin 74,7 (8,1) % viimeisen kuorman keskitehosta ja syke keskimäärin 89,3 (3,7) % maksimisykkeestä.

TAULUKKO 2. VO_{2max}-testin tulokset keskiarvoina (keskihajonta).

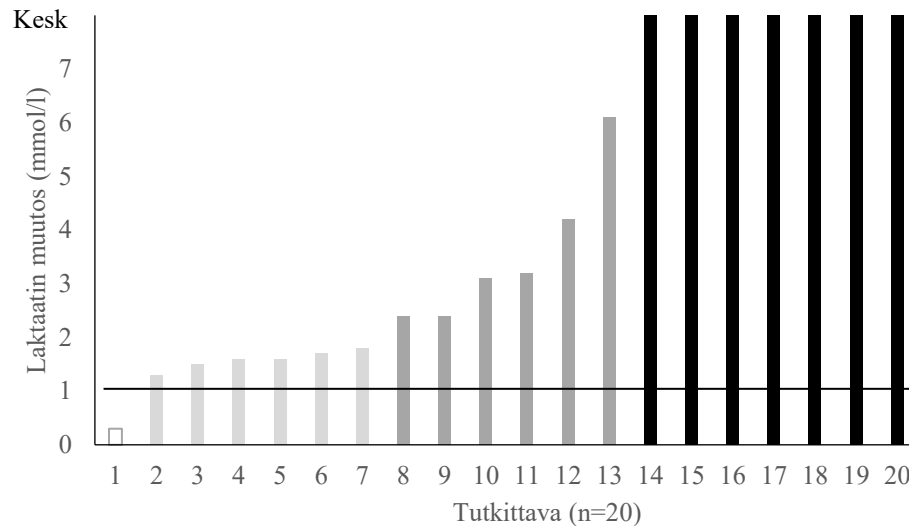
	VO _{2max} (l/min)	Teho _{max} (W)	Syke _{max} (lyöntiä/ min)	La _{max} (mmol/l)	VO _{2ank} (l/min)	Teho _{ank} (W)	Syke _{ank} (lyöntiä/ min)	La _{ank} (mmol/l)
Miehet n = 9	4,39 (0,47)	374 (57)	190 (8)	13,1 (3,0)	3,88 (0,50)	267 (53)	168 (7)	3,2 (0,6)
Naiset n = 12	3,10 (0,48)	229 (53)	186 (10)	10,9 (3,0)	2,71 (0,49)	176 (41)	167 (13)	3,0 (0,6)
Kaikki n = 21	3,65 (0,80)	291 (91)	187 (9)	11,8 (3,1)	3,21 (0,76)	215 (65)	167 (11)	3,1 (0,6)

VO_{2max}, maksimaalinen hapenottokyky; l/min, litraa minuutissa; Teho_{max}, viimeisen kuorman keskiteho; W, watti; Syke_{max}, maksimisyke; lyöntiä/min, lyöntiä minuutissa; La_{max}, korkein mitattu laktaattipitoisuus; mmol/l, millimoolia litrassa; VO_{2ank}, hapenkulutus anaerobisella kynnyksellä; Teho_{ank}, teho anaerobisella kynnyksellä; Syke_{ank}, syke anaerobisella kynnyksellä; La_{ank}, laktaattipitoisuus anaerobisella kynnyksellä.

8.2 Maksimaalisen laktaatin tasapainon arvioiminen anaerobisen kynnyksen perusteella

Lineaarisovitemenetelmällä määritetyllä anaerobisen kynnyksen teholla yksi tutkittava saavutti MLSS-tason tasavauhtisessa kuormituksessa (kuva 8). Yhdellä tutkittavalla laktaattipitoisuuden muutos viimeisen 20 minuutin aikana oli 1,3 mmol/l. Viidellä tutkittavalla laktaattipitoisuuden muutos oli 1,5–1,8 mmol/l. Kuudella tutkittavalla laktaattipitoisuuden muutos oli 2,4–6,1 mmol/l. Seitsemän tutkittavaa joutui keskeyttämään ensimmäisen tasavauhtisen kuormituk-

sen tai he eivät pystyneet ylläpitämään tavoitetehoa koko testiaikaa. Toisin sanoen 5 % tasavauhtiset kuormitukset tehneistä tutkittavista oli MLSS-tasolla, kun taas 95 %:lle tutkittavista lineaarisovitemenetelmällä määritetty teho oli liian korkea MLSS-tason saavuttamiseksi.



KUVA 8. Lineaarisoitemenetelmällä määritetyllä anaerobisen kynnyksen teholla tehdyn tasavauhtisen testin laktaattipitoisuuden muutos 10 minuutin ja 30 minuutin välillä yksittäisillä tutkittavilla. Kuvassa on mukana tasavauhtiset testit tehneet tutkittavat (n = 20). Seitsemän tutkittavaa joutui keskeyttämään tai ei pystynyt ylläpitämään tavoitetehoa (Kesk.). Valkoinen pylväs, laktaatin muutos alle 1 mmol/l; vaaleanharmaat pylväät, laktaatin muutos 1–2 mmol/l; tummanharmaat pylväät, laktaatin muutos 2–6 mmol/l; mustat pylväät, keskeyttäneet. Vaakasuora musta viiva, maksimaalisen laktaatin tasapainon määritelmän raja, laktaattipitoisuuden muutos korkeintaan 1 mmol/l. Mmol/l, millimoolia litrassa.

Yhteensä 15 tutkittavalle löydettiin määritelmän mukainen MLSS-teho kolmen mittauskerran aikana. Viiden tutkittavan kohdalla ei löydetty määritelmän mukaista MLSS-tehoa. Yksi tutkittava ei tehnyt yhtään tasavauhtista testiä sairastumisen vuoksi. MLSS-teholla laktaatin muutos viimeisen 20 minuutin aikana oli keskimäärin 0,56 (0,29) mmol/l.

8.3 Maksimaalisen laktaatin tasapainon yhteys anaerobiseen kynnykseen

MLSS-teho ja fysiologisten muuttujien arvot sekä eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnyksarvot, on esitetty taulukossa 4 niiden tutkittavien osalta, joille löydettiin MLSS-teho (n =

15). MLSS-teho ja lineaarisovitemenetelmällä määritetty anaerobinen kynnysteho erosivat toisistaan ($t(14) = 3,733$, $p = 0,002$). MLSS-tehosta erosi tilastollisesti merkitsevästi kaikki eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnystehot ($p < 0,01$) paitsi D_{\max} -menetelmällä määritetty kynnysteho. D_{\max} -menetelmällä määritetty kynnysteho erosi MLSS-tehosta keskimäärin 10,5 (17,2) W, mutta tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollut.

TAULUKKO 4. Maksimaalisen laktaatin tasapainon arvojen vertailu eri menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnysten arvoihin. Taulukossa on arvot niiden tutkittavien osalta, joille löydettiin maksimaalisen laktaatin tasapaino. Luvut ovat keskiarvoja (keskihajonta).

	n	Teho (W)	Syke (lyöntiä/min)	La (mmol/l)	VO ₂ (l/min)
MLSS	15	181 (54)	165 (9)	3,0 (0,9)	2,96 (0,69)
Lineaarisovite	15	195 (61) **	165 (11)	3,0 (0,6)	2,95 (0,69)
D_{\max}	12	193 (66)	163 (13)	2,7 (0,8)	2,91 (0,75)
Mod D_{\max}	12	214 (71) ***	171 (13) **	4,2 (1,1) ***	3,09 (0,75) *
OBLA ₄	15	208 (65) ***	171 (10) **	4,0 (0) ***	3,06 (0,70) *
OBLA ₃	15	194 (61) **	165 (10)	3,0 (0)	2,94 (0,69)

W, watti; lyöntiä/min; lyöntiä minuutissa; La, laktaattipitoisuus; mmol/l, millimoolia litrassa; VO₂, hapenkulutus; l/min, litraa minuutissa; MLSS, maksimaalisen laktaatin tasapaino; OBLA₄, OBLA (4 mmol/l); OBLA₃, OBLA (3 mmol/l); Ero MLSS:oon * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

On huomioitava, että D_{\max} - ja mod D_{\max} -teho saatiin määritettyä 18 tutkittavalle ja MLSS-teho löydettiin 15 tutkittavalle. Tämän takia sellaisia tutkittavia, joille saatiin määritettyä sekä D_{\max} - ja mod D_{\max} - että MLSS-teho oli vain 12. Tästä syystä MLSS-tehon keskiarvo D_{\max} -vertailussa oli 183 W, kun vertailussa huomioitiin vain tutkittavat, joilla oli molemmat tehot määritetty. Tämän vuoksi todellinen keskiarvoero D_{\max} -tehon ja MLSS-tehon välillä on 10 W, vaikka taulukon 4 perusteella ero on hieman suurempi. Taulukon 4 tehot on ilmoitettu keskiarvoina niiden tutkittavien osalta, joille kyseisen menetelmän teho on saatu määritettyä. Eri menetelmien parivertailuissa tutkittavien yhteismäärä on kuitenkin voinut olla hieman eri kuin yksittäisen menetelmän tutkittavamäärä, jolloin myös yksittäisen menetelmän keskiarvoteho voi erota hieman joidenkin parivertailujen keskiarvotehoista.

Taulukossa 4 on myös fysiologiset muuttujat MLSS-teholla ja eri anaerobisten kynnysten tasolla. Lineaarisovite-, D_{\max} -, ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnysyökkeet eivät eronneet MLSS-teholla tehdyssä testissä mitatusta sykkeestä. Sen sijaan

modD_{max}- ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetyt kynnysyykkeet olivat korkeampia kuin MLSS-teholla tehdyn kuormituksen sykkeet. Linearisovitemenetelmällä määritetty anaerobista kynnystä vastaava veren laktaattipitoisuus ei eronnut MLSS:n lopussa mitatusta laktaattipitoisuudesta. MLSS-laktaattipitoisuus erosi vain ModD_{max}- ja OBLA (4 mmol/l) -kynnyslakteista, jotka olivat selkeästi korkeampia kuin MLSS-laktaattipitoisuus. MLSS-teholla tehdyn testin hapenkulutus erosi vain ModD_{max}:ia ja OBLA (4 mmol/l): aa vastaavasta hapenkulutuksesta, jotka olivat korkeampia kuin hapenkulutus MLSS-teholla.

Eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnystehot on esitetty taulukossa 5. Taulukossa on kaikkien tutkittavien arvot lineaarisovite-, OBLA (3 mmol/l) ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmien osalta. D_{max}- ja modD_{max} -menetelmien osalta tutkittavien määrä on 18, koska kolmelle tutkittavalle ei saatu määritettyä arvoja Lactate-E-ohjelmalla. Taulukossa 5 ilmoitetut arvot ovat kullakin menetelmällä määritetyn tutkittavajoukon tulosten keskiarvo. Parittaisissa menetelmävertailuissa tutkittavien määrä oli pienempi niiltä osin, kun jollain menetelmällä ei pystytty määrittämään kaikkia arvoja. Tämän takia keskiarvoeroja verrattaessa vertailussa käytetty keskiarvo voi olla hieman eri kuin taulukossa esitetty keskiarvo.

TAULUKKO 5. Eri menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnysarvot, keskiarvo (keskihajonta)

	n	Teho (W)	Syke (lyöntiä/min)	La (mmol/l)
Lineaarisovite	21	215 (65) ^{c,d}	167 (11) ^{c,d}	3,1 (0,6) ^{c,d,g}
D _{max}	18	216 (67) ^{c,d}	166 (12) ^{c,d}	2,9 (0,8) ^{c,d,f}
ModD _{max}	18	234 (71) ^{a,b,e}	172 (12) ^{a,b,e}	4,0 (0,9) ^{a,b,e}
OBLA ₄	21	228 (68) ^{a,b,e}	172 (10) ^{a,b,e}	4,0 (0) ^{a,b,e}
OBLA ₃	21	212 (62) ^{c,d}	167 (11) ^{c,d}	3,0 (0) ^{c,d}

W, watti; lyöntiä/min, lyöntiä minuutissa; La, laktaattipitoisuus; mmol/l, millimoolia litrassa; OBLA₄, OBLA (4 mmol/l); OBLA₃, OBLA (3 mmol/l). ^aero lineaarisovitemenetelmään p < 0.001, ^bero D_{max}:iin p < 0.001, ^cero modD_{max}:iin p < 0.001, ^dero OBLA₄:ään p < 0.001, ^eero OBLA₃:een p < 0.001, ^fero lineaarisovitemenetelmään p < 0.05, ^g ero D_{max}:iin p < 0.05

ModD_{max}- ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä saatiin korkeimmat keskimääräiset kynnystehot ja kaikkien muiden menetelmien kynnystehot erosivatkin niistä. Myös sykkeiden osalta ModD_{max}- ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmät antoivat korkeimmat anaerobiset kynnysyykkeet ja ne erosivat kaikilla muilla menetelmillä määritetyistä kynnysykearvoista (p < 0,01). Muiden

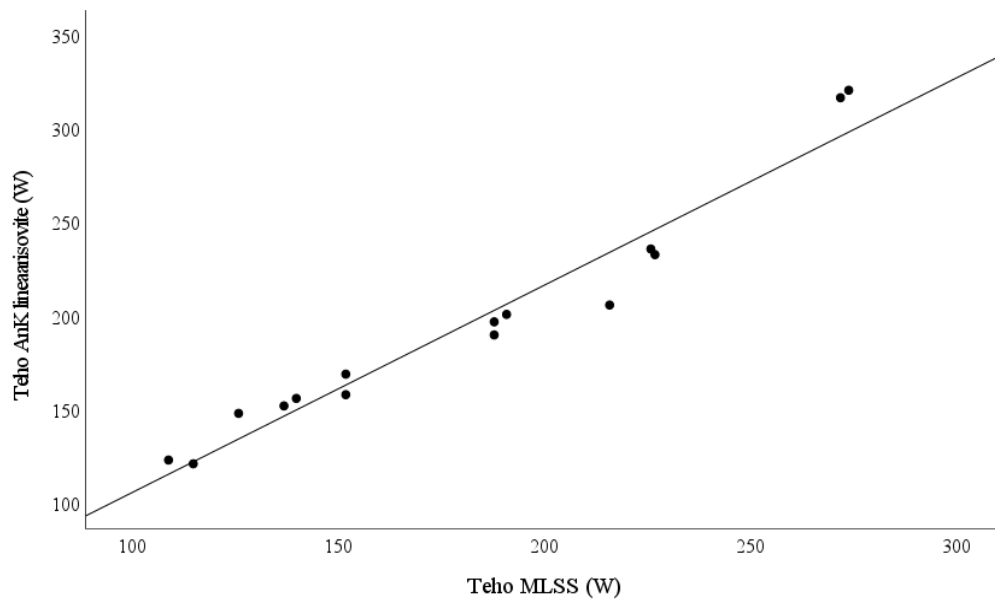
menetelmien tehot ja sykkeet eivät eronneet toisistaan. Korkeimmat anaerobista kynnystä vastaavat laktaattipitoisuudet olivat modD_{max}- ja OBLA (4 mmol/l) -määritysmenetelmällä. OBLA (4 mmol/l) määritetään kiinteälle laktaattipitoisuudelle, mutta myös modD_{max}-tehoa vastaava laktaattipitoisuus oli keskimäärin 4 mmol/l. ModD_{max}- ja D_{max}-kynnyksiä vastaavat laktaattipitoisuudet erosivat kaikkien muiden menetelmien kynnystä vastaavista laktaattipitoisuuksista. D_{max}-kynnystä vastaava laktaattipitoisuus oli alhaisin ja se erosi kaikista muista paitsi OBLA (3 mmol/l) -menetelmän kiinteästä laktaattipitoisuudesta.

Taulukosta 3 nähdään, että MLSS-teho oli voimakkaasti yhteydessä kaikkien eri menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnysten tehojen kanssa ($r = 0,973-0,983$, $p < 0,001$). Lisäksi kaikilla määritysmenetelmillä määritetyt anaerobisen kynnysten tehot olivat toisistaan voimakkaasti riippuvaisia ($r = 0,974-0,996$, $p < 0,001$) (taulukko 3). Kuvassa 9 nähdään esimerkki lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnysten ja MLSS:n välisestä vahvasta positiivisesta riippuvuudesta.

TAULUKKO 3. Maksimaalisen laktaatin tasapainotehon ja eri menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnystehojen riippuvuus toisistaan.

	MLSS	Lineaarisovite	D _{max}	ModD _{max}	OBLA ₄	OBLA ₃
MLSS	1 n = 15					
Lineaarisovite	0,975* n = 15	1 n = 21				
D _{max}	0,973* n = 12	0,984* n = 18	1 n = 18			
ModD _{max}	0,981* n = 12	0,985* n = 18	0,989* n = 18	1 n = 18		
OBLA ₄	0,983* n = 15	0,993* n = 21	0,979* n = 18	0,990* n = 18	1 n = 21	
OBLA ₃	0,977* n = 15	0,992* n = 21	0,974* n = 18	0,980* n = 18	0,996* n = 21	1 n = 21

OBLA₄, OBLA (4 mmol/l); OBLA₃, OBLA (3 mmol/l); * $p < 0,001$



KUVA 9. Maksimaalisen laktaatin tasapainotehon ja lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnystehon välinen korrelaatio on voimakas ($r = 0,975$).

Tutkittavien painon vaihtelussa ei havaittu merkitseviä eroja eri mittauskertojen välillä. Painon vaihteluvälin pituus mittauskertojen välillä oli keskimäärin 1,05 (0,57) kg. Suurimmat painon vaihteluvälin pituudet mittauskertojen välillä olivat 1,9 kg. Lämpötilan vaihtelussa ei havaittu merkitseviä eroja mittauskertojen 1–3 välillä. Neljännen mittauskerran lämpötila erosi ensimmäisen kerran lämpötilasta ($p < 0,023$). Kaikkien mittauskertojen lämpötilan vaihteluvälin pituus oli keskimäärin 1,5 (1,2) astetta. Lämpötilan vaihtelu mittauskertojen välillä oli yksittäisellä tutkittavalla 0,5–2,5 astetta lukuun ottamatta yhtä mittauskertaa. Mittauspaikkojen ilman kosteus oli kaikkina mittauskertoina keskimäärin 45,4 (12,9) %.

9 POHDINTA

Tämän tutkimuksen päätuloksena oli, että MLSS-teho on vahvasti riippuvainen VO_{2max} -testistä määritetystä anaerobisesta kynnyksestä, mutta ainoastaan D_{max} -menetelmällä määritetty kynnysteho vastasi keskimäärin MLSS-tehoa. Sen sijaan anaerobista kynnystä vastaava syke, laktaattipitoisuus ja hapenkulutus eivät eronneet MLSS-teholla tehdyn testin sykkeestä, laktaattipitoisuudesta ja hapenkulutuksesta muiden kuin OBLA (4 mmol/l) ja $modD_{max}$ -menetelmien osalta. Tulosten perusteella lineaarisovite-, D_{max} - ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmiä voitaisiin käyttää fysiologisten muuttujien, kuten sykkeen, osalta MLSS-tasoa vastaavan harjoitusalueen arviointiin.

9.1 Maksimaalisen laktaatin tasapainoa vastaavan tehon vertailu anaerobisen kynnyksen tehoon

Tutkittavat tekivät ensimmäisen tasavauhtisen 30 minuutin kestoisen testin VO_{2max} -testistä lineaarisovitemenetelmän avulla määritetyn anaerobisen kynnyksen teholla. Vain yhdellä tutkittavalla veren laktaattipitoisuuden muutos oli MLSS-tehon määritelmän mukainen eli korkeintaan 1 mmol/l nousu testin viimeisen 20 minuutin aikana. Yhdellä tutkittavalla laktaattipitoisuuden muutos oli 1,3 mmol/l, joka on vain 0,3 mmol/l yli MLSS-tehon määritelmän ja näin ollen lähellä laktaattimittarin mittaustarkkuuden 0,2 mmol/l rajaa (Bonaventura ym. 2015; EKF Diagnostics 2023). Sen sijaan muilla tasavauhtiset testit tehneillä tutkittavilla laktaattipitoisuuden muutos oli 1,5 mmol/l tai enemmän. Seitsemän tutkittavaa ei pystynyt suorittamaan ensimmäistä tasavauhtista testiä lineaarisovitemenetelmän avulla määritetyllä teholla loppuun asti. Lineaarisovitemenetelmällä määritetty anaerobinen kynnys siis yliarvioi MLSS-tehoa tässä tutkimuksessa. Lineaarisovitemenetelmällä määritetty teho myös erosi merkitsevästi MLSS-tehosta ($p = 0,002$).

Kainlauri (2019) ja Mäkinen (2019) ovat tutkimuksissaan tehneet tasavauhtisia 30 minuutin kestoisia kuormituksia lineaarisovitemenetelmän avulla määritetyllä anaerobisella kynnyksellä. Kaikista kuormituksista keskimäärin 44 % oli yli MLSS-tason (Kainlauri 2019; Mäkinen 2019). Tässä pro gradu -tutkimuksessa yli MLSS-tason menevien kuormitusten osuus oli selkeästi vielä suurempi, koska 95 % ensimmäisen tasavauhtisen testin kuormituksista oli yli MLSS-

tason. Kainlaurilla (2019) ja Mäkisellä (2019) kuormitustapana oli juoksumatto. Tässä tutkimuksessa käytettiin soutuergometria. Myös testiprotokollat olivat hieman erilaiset johtuen soutuergometrikuormituksen luonteesta. On mahdollista, että yli MLSS-tason olevien kuormitusten erittäin suuri osuus tässä tutkimuksessa verrattuna juoksumatolla tehtyihin tutkimuksiin liittyy kuormitustavan ja testiprotokollien eroihin. Yksi testiprotokollan ero on, että juoksukuormituksessa tehoa nostetaan tasaisesti uupumukseen asti, kun taas soutukuormituksessa pääteetään etukäteen viimeinen kuorma, joka soudetaan maksimaalisella teholla. Näin ollen tehon nostot soutukuormituksessa eivät ole loppuun asti tasaisia, mikä voi vaikuttaa matemaattisten määrittämenetelmien tuloksiin. Lisäksi juoksutestissä käytetään yleensä kaikilla samansuuruisista kuormaportaan nostoa, kun taas tämän tutkimuksen soututestissä kuormaportaiden nostot oli suhteutettu henkilön maksimisuorituskykyyn.

Tässä pro gradu -tutkimuksessa myös OBLA (3 mmol/l), OBLA (4 mmol/l) ja modD_{max} -menetelmällä määritetyt anaerobisen kynnyksen tehot erosivat MLSS-tehosta ($p < 0,01$). Ainoastaan D_{max} -teho ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi MLSS-tehosta, mutta absoluuttinen ero oli kuitenkin keskimäärin 10,5 (17,2) W, joten harjoitusvauhtien tai kunnan kehityksen seurannan kannalta menetelmä ei välttämättä ole yksilöllisesti tarkka. D_{max} -menetelmä on aiemmissa tutkimuksissa vastannut hyvin MLSS-tehoa (Czuba ym. 2009; de Souza ym. 2012; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020) ja yksilöllinen vaihtelu on ollut vähäistä (Płoszczyca ym. 2020), joskin joissain tutkimuksissa yksilöllinen vaihtelu on ollut suurta (de Souza ym. 2012). Tässäkin tutkimuksessa D_{max} -menetelmä oli lähimpänä MLSS-tehoa. Linearisovite-, OBLA (3 mmol/l) ja D_{max} -menetelmä vastasivat keskimääräisesti melko hyvin toisiaan.

Korkeimmat anaerobisen kynnyksen tehot saatiin OBLA (4 mmol/l) ja modD_{max} -menetelmillä ja näillä menetelmillä määritetyt anaerobisen kynnyksen arvot myös erosivat kaikkien muiden menetelmien arvoista ($p < 0,05$). OBLA (4 mmol/l) ja modD_{max} yliarvioivat selkeästi MLSS-tehoa. Nämä tulokset ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa soutuergometrilla. OBLA (4 mmol/l) (Beneke 1995; Bourgois & Vrijens 1998; Possamai ym. 2021) ja modD_{max} (Bourdon ym. 2018) ovat yliarvioineet MLSS-tehoa soutuergometrikuormituksessa. OBLA:n validiteetin on todettu riippuvan kuormitustavasta, koska laktaattipitoisuus riippuu käytössä olevan lihasmassan määrästä (Beneke ym. 2001; Figueira ym. 2007). Soudussa suurin osa kehon lihasmassasta on käytössä, jolloin MLSS-teholla tehdyn kuormituksen laktaattipitoisuuden on todettu olevan alhaisempi kuin silloin, kun pienempi osuus lihasmassasta on käytössä (Beneke ym. 2001). Tosin myös useassa muuta kuormitustapaa käyttävässä tutkimuksessa OBLA (4

mmol/l):n on todettu yliarvioivan MLSS-tehoa (Caen ym. 2021; Jamnick ym. 2018; Pallarés ym. 2016; Płoszczyca ym. 2020).

Hypoteesin mukaisesti D_{\max} -menetelmä vastasi keskimäärin MLSS-tehoa ja lineaarisovite-, $\text{mod}D_{\max}$ - ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmät erosivat MLSS-tehosta. OBLA (3 mmol/l) -menetelmän odotettiin hypoteesin mukaan vastaavan MLSS-tehoa, mutta OBLA (3 mmol/l):a vastaava teho kuitenkin erosi MLSS-tehosta. OBLA (3 mmol/l):n oletettiin vastaavan MLSS-tehoa, koska souuergometrikuormituksessa mitatut MLSS-tehoa vastaavat laktaattipitoisuudet ovat olleet keskimäärin 2,7–3,2 mmol/l (Beneke 1995; Beneke ym. 2001; Boland ym. 2022; Bourdon ym. 2018; Possamai ym. 2021; Tran ym. 2015) ja on todettu, että ero lajien välillä OBLA:n validiteetissa ennustaa MLSS-tehoa on yhteydessä eroihin MLSS-laktaattipitoisuuksissa (Figueira ym. 2007). Vaikka OBLA (3 mmol/l) -teho ei vastannut MLSS-tehoa, se oli kuitenkin D_{\max} -menetelmän jälkeen lähimpänä MLSS-tehoa ja OBLA (3 mmol/l) -tehoa vastaavat fysiologiset arvot olivat keskimäärin samoja kuin MLSS-tehoa vastaavat fysiologiset arvot.

Useissa aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että eri tavoilla määritetyt anaerobiset kynnykset joko aliarvioivat tai yliarvioivat MLSS-tehoa (Beneke 1995; Bourdon ym. 2018; Bourgois & Vrijens 1998; Hauser ym. 2013; Jamnick ym. 2018; Possamai ym. 2021). Lukuisia erilaisia objektiivisia anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmiä on kehitetty, mutta ne antavat toisistaan eroavia tuloksia ja usein eivät vastaa MLSS-tehoa (Beneke 1995; Beneke 2003; Bourdon ym. 2018; Hauser ym. 2014; Jamnick ym. 2018; Possamai ym. 2021; Yaeger ym. 2018). Laktaattipitoisuuden tasapaino on kuitenkin alun perin anaerobisen kynnyksen fysiologinen kriteeri (Binder ym. 2008; Bourdon ym. 2018). MLSS-tehon määrittämiseksi anaerobisen kynnyksen avulla ei ole kuitenkaan löytynyt luotettavaa ja objektiivista menetelmää. Caen ym. (2021) tekivät mielenkiintoisen päätelmän vertaillen eri kynnysmäärittämenetelmiä MLSS-tehon määrittämiseksi. Heidän tutkimuksessaan parhaiten MLSS-tehoa vastasi kokeneiden testaaajien määrittämä anaerobisen kynnyksen teho. Testaajat määrittivät anaerobisen kynnyksen laktaattikäyrän toiseen taitekohtaan käyttäen lisäksi muita fysiologisia muuttujia määrittäksen apuna. Heidän johtopäätöksensä oli, että nousevatehoista testiä voidaan käyttää MLSS-tehon määrittämiseksi, mutta määrittämenetelmäksi ei sovi yksistään matemaattiset mallit, vaan lisäksi tarvitaan kokeneen testaaajan näkemystä. (Caen ym. 2021) Tässä pro gradu -tutkimuksessa käytetyt anaerobisen kynnyksen määrittämisen matemaattiset mallit eivät luotettavasti ennustaneet

MLSS-tehoa, joten kynnysten ja harjoitusalueiden määrittämisessä voi olla tarpeen käyttää lisäksi kokeneen testaajan asiantuntemusta Caenin ym. (2021) suosituksen mukaisesti.

MLSS:n määritelmässä veren laktaattipitoisuuden muutoksen raja on nyt hyvin tiukasti sallittu olevan korkeintaan 1 mmol/l, vaikka mittauksen virhelähteet voivat tuoda epätarkkuuksia tuloksiin. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn laktaattianalysaattorin mittausvirhemarginaali on 0,1–0,2 mmol/l MLSS-laktaattipitoisuuden alueella (Bonaventura ym. 2015). On aiheellista pohtia, onko mielekäästä, että kaikki alle 1 mmol/l olevat muutokset laktaattipitoisuudessa luetaan MLSS-tason kriteerit täyttäväksi, mutta jo hieman määritelmän yli menevä laktaattipitoisuuden muutos on kaikissa tapauksissa yli MLSS-tason.

MLSS-tehon tämänhetkisen vakiintuneen määritelmän mielekkyys on herättänyt paljon keskustelua (Iannetta ym. 2022; Jones ym. 2019; Nixon ym. 2021). Jones ym. (2019) ovat kritisoineet, että perustelut erittäin tarkalle MLSS-tehon määritysmenetelmälle eivät ole selviä. Esimerkiksi laktaatintuoton ja -poiston kinetiikan on todettu olevan yksilöllistä, jolloin on mahdollista, että veren laktaatin tasapainon saavuttaminen voi jollain yksilöllä kestää pidempään ja tasapaino voidaan saavuttaa esimerkiksi vasta 15–30 min välillä MLSS-teholla tehtävässä kuormituksessa. (Iannetta ym. 2022; Jones ym. 2019) Joissakin uusissa tutkimuksissa onkin testattu erilaisia MLSS-tehon määrittämisen protokollia (Iannetta ym. 2022; Nixon ym. 2021). Koska laktaatin tasapaino voidaan saavuttaa myös myöhemmin kuin 10 minuuttia kuormituksen aloituksesta, on syytä myös miettiä lämmittelyn pituuden ja intensiteetin vaikutusta tuloksiin. On mahdollista, että liian lyhyt ja kevyt lämmittely aiheuttaa sen, että veren laktaattipitoisuuden tasapainoa ei ehditä saavuttaa vielä 10 minuutin kohdalla, vaikka kuormitus olisikin sellaisella tehoalueella, että tasapaino voidaan saavuttaa myöhemmin kuormituksen aikana.

On aiheellista myös pohtia, että onko vallitsevan määritelmän mukainen veren laktaattipitoisuuden muutoksen suuruus (1 mmol/l) kaikille suhteessa sama vai pitäisikö muutos olla erisuuruisen eri henkilöille, joilla on erilaiset absoluuttiset laktaattipitoisuudet eri intensiteettialueilla. Lisäksi on todettu, että kuormitustapa vaikuttaa veren laktaattipitoisuuteen (Beneke ym. 2001). On myös viitteitä siitä, että mahdollisesti koko kehon kuormituksessa voi olla normaalia, että veren laktaattipitoisuus nousee vähitellen tasavauhtisen kuormituksen aikana (Iannetta ym. 2022; ja Beneke 2003a). Onko sama määritelmä silloin sopiva eri lajeille? Tässä pro gradu -tutkimuksessa kaikille tutkittaville ei löytynyt määritelmän mukaista laktaatin tasapainoa,

vaikka tehoa laskettiin selkeästi ja kuormitus oli tehoalueella, jota oli mahdollista ylläpitää pitkään. Tämä viittaa siihen, että joillakin yksilöillä laktaattipitoisuus nousee ainakin MLSS-määritelmää enemmän, vaikka he pystyvätkin työskentelemään pitkään kyseisellä teholla. On mahdollista, että näillä henkilöillä laktaatin tasapaino saavutetaan myöhemmin tai heillä laktaatin muutos tasapainossakin on hieman korkeampi kuin 1 mmol/l.

MLSS:n määrittämisen menetelmään liittyy mahdollisia virhelähteitä. Usean perättäisen tasavauhtisen kuormituksen tekeminen MLSS-tehon löytämiseksi voi johtaa harjoitusvaikutuksen syntyyn (Jones ym. 2019). MLSS-testin tauot voivat vaikuttaa veren laktaattipitoisuuden nousun nopeuteen (Beneke ym. 2003b). Tässä tutkimuksessa näytteenottotauko MLSS-testissä oli kymmenen minuutin välein, kun taas joissain tutkimuksissa tauko on ollut viiden minuutin välein (Beneke 1995; Beneke ym. 2000; Beneke ym. 2001; Caen ym. 2021; Czuba ym. 2009; Harnish ym. 2001; Płoszczyca ym. 2020; Smith & Jones 2001) tai testi on tehty ilman taukoja (Bräuer & Smekal 2020; Smekal ym. 2012). MLSS-tehoa ei juuri koskaan pystytä määrittämään täysin tarkasti, koska laktaattipitoisuuden muutoksen pitäisi olla tasan 1 mmol/l, jotta MLSS-teho ei olisi aliarvioitu. Yleensä MLSS-tehoksi kuitenkin lasketaan kaikki tehot, joilla laktaattipitoisuuden muutos pysyy alle 1 mmol/l. (Jones ym. 2019) Sen sijaan laktaattipitoisuuden muutoksen ollessa esimerkiksi 1,1 mmol/l kuormitusteho yleensä luetaan yli MLSS-tehon olevaksi, vaikka tämä on laktaattimittarin mittausvirheen sisällä oleva arvo (Bonaventura ym. 2015).

Tutkimuksen kuormitustapana oli soutuergometri, jota on harvemmin käytetty vastaavissa tutkimuksissa. Soutuergometri on yleisesti käytetty harjoittelumuoto myös kuntoilijoiden keskuudessa, joten on tärkeää saada tutkimustietoa myös soutuergometrin käytöstä kuormitustapana. Saattaa kuitenkin olla, että jotkin tämän tutkimuksen tulokset liittyvät ainakin osittain lajin tai lajissa käytetyn kuormitusmallin erityisominaisuuksiin, eikä täysin varmaa yleistystä voida kaikkiin kuormitusmuotoihin tehdä. On todettu esimerkiksi, että työskentelevän lihasmassan määrä vaikuttaa MLSS-laktaattipitoisuuteen (Beneke ym. 2001).

Anaerobisen kynnystehon vastaavuus MLSS-tehon kanssa riippuu paitsi anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmästä myös käytetystä nousevatehoisen testin protokollasta (Bourdon ym. 2018; Jamnick ym. 2018). Soudun VO_{2max} -testissä käytetty protokolla eroaa hieman muissa lajeissa käytetystä protokollasta, mikä saattaa vaikuttaa jonkin verran kynnysmäärittäykseen. On

myös huomioitava, että laktaattimittarin mittausmenetelmä vaikuttaa laktaattiarvoihin. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytetyn Lactate Scout + -mittarin on todettu näyttävän hieman alhaisempia arvoja korkeilla laktaattipitoisuuksilla verrattuna joihinkin muihin menetelmiin. Tämä voi johtaa muihin mittausmenetelmiin verrattuna erilaisiin anaerobisen kynnyksen arvoihin matemaattisilla kynnysmäärittämismenetelmillä. (Bonaventura ym. 2015) Tämän vuoksi voi olla, että tutkimustulokset ovat täysin sovellettavissa vain samanlaisella protokollalla, kuormitustavalla ja määrittämismenetelmillä tehtyihin testeihin.

Tässä pro gradu -tutkimuksessa keskityttiin laktaatin tasapainoon. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että eri fysiologiset muuttujat eivät välttämättä saavuta tasapainoa juuri MLSS-teholla. Joidenkin fysiologisten muuttujien, esimerkiksi hengitystiheyden ja sykkeen, tasapaino saattaa olla jo MLSS-tehoa alemmalla teholla (Baron ym. 2003). Useissa uusissa tutkimuksissa on puolestaan todettu, että hapenkulutuksen tasapaino voi olla MLSS-tehoa korkeammalla teholla (Bräuer & Smekal 2020; Hill ym. 2020; Iannetta ym. 2018; Iannetta ym. 2022; Nixon ym. 2021). Nämä löydökset ovat saaneet aikaan keskustelun siitä, mikä on oikea tehoalue harjoittelalueiden määrittämiseksi. Joidenkin tutkijoiden mukaan maksimaalinen hapenkulutuksen tasapaino olisi parempi raja kuin MLSS (Jones ym. 2019; Nixon ym. 2021). Kuitenkin Iannetta ym. (2022) tutkimuksessa hapenkulutuksen tasapainon teholla myös laktaatin tasapaino saavutettiin 15 minuutin jälkeen. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että MLSS-määrittelmää hieman muuttamalla hapenkulutuksen ja laktaattipitoisuuden tasapaino voisi olla yhtä aikaa saavutettavissa (Iannetta ym. 2022).

Sekä tämän tutkimuksen että aiempien tutkimusten perusteella MLSS-tehoa ei voida luotettavasti määrittää nousevatehoisesta testistä tutkittujen matemaattisten mallien avulla. Kokeneen testaajan asiantuntemusta tarvitaan apuna testitulosten tulkinnassa. Tulosten määrittämisessä on myös huomioitava mahdollinen kuormitustavan ja testiprotokollan vaikutus tuloksiin.

9.2 Maksimaalisen laktaatin tasapainon laktaattipitoisuuden vertailu anaerobisen kynnyksen laktaattipitoisuuteen

Hypoteesin vastaisesti MLSS-laktaattipitoisuus ei eronnut lineaarisovite-, D_{max} -, eikä OBLA (3 mmol/l) -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen laktaattipitoisuudesta. Useissa tutkimuksissa on huomattu MLSS-laktaattipitoisuuden olevan korkeampi kuin anaerobista kynnystä

vastaavan laktaattipitoisuuden (Caen ym. 2021; Czuba ym. 2009; Kainlauri 2019; Van Schuylenbergh ym. 2004). Korkeamman veren laktaattipitoisuuden MLSS-tasolla on päätelty johtuvan siitä, että vasta pidemmän kuormituksen aikana laktaatti-ionit ovat ehtineet siirtyä lihassoluista verenkiertoon niin, että lihaksen sisäinen laktaattipitoisuus vastaa verestä mitattua laktaattipitoisuutta. (Czuban ym. 2009; Van Schuylenbergh ym. 2004).

Tässä pro gradu -tutkimuksessa modD_{max} - ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetyt anaerobista kynnystä vastaavat laktaattipitoisuudet olivat selkeästi korkeampia kuin MLSS-laktaattipitoisuus. Myös Bourdonin ym. (2018) tutkimuksessa soutuergometrilla tehdyissä testeissä laktaattipitoisuus oli sama tai alhaisempi MLSS-tasolla kuin modD_{max} :lla määritetyllä kynnyksellä. Vaikuttavana tekijänä laktaattipitoisuuden osalta voikin olla anaerobisen kynnyksen määrittystapa sekä kuormitustapa. Esimerkiksi OBLA (4 mmol/l):n laktaattipitoisuus on korkeampi kuin MLSS-laktaattipitoisuus, koska soutuergometrilla tehdyissä tutkimuksissa MLSS-tehoa vastaava laktaattipitoisuus on ollut keskimäärin 2,7–3,2 mmol/l (Beneke 1995; Beneke ym. 2001; Bourdon ym. 2018; Possamai ym. 2021). Tässä tutkimuksessa MLSS-laktaattipitoisuus oli keskimäärin 3,0 mmol/l, joka on linjassa aiempien tutkimusten kanssa.

Laktaattipitoisuuden mittaamiseen liittyy aina virhelähteitä. Tässä tutkimuksessa käytetyn laktaattianalysoitsijan virhemarginaali on 0,1–0,2 mmol/l alle 7 mmol/l laktaattipitoisuudella (EKF Diagnostics 2023; Bonaventura ym. 2015). Lisäksi näytteenotossa voi tapahtua virheitä, kuten ilmakuplien tai hien sekoittumista näytteeseen (Nummela & Peltonen 2018). Tässä tutkimuksessa tutkimuksen tekijä oli kokenut näytteenottaja. Laktaattinäytteenotto on kuitenkin herkkä virheille, koska näytteenottoon vaadittu verimäärä on erittäin pieni ja esimerkiksi hien sekoittuminen näytteeseen vaikuttaa tulokseen (EKF Diagnostics 2023). Tämän vuoksi näytteenoton virheet ovat aina mahdollisia.

Laktaattipitoisuuden mittaamisen toistettavuuden on todettu olevan melko huono (Hauser ym. 2013). Kynnysmäärittysten tehon määrittämisen toistettavuus on kuitenkin ollut monen tutkimuksen perusteella hyvä (Heuberger ym. 2018; Hopkins ym. 2001; Morton ym. 2012; Pallares ym. 2016), mutta joissain tutkimuksissa joidenkin määrittymenetelmien toistettavuus on ollut huono (Morton ym. 2012; Pallares ym. 2016). Laktaattipitoisuuden mittaamisen huono toistettavuus johtuu testattavasta johtuvista tekijöistä, eikä niinkään analysoitsijan aiheuttamasta virheestä (Bonaventura ym. 2015). Vaihtelua voi aiheuttaa esimerkiksi muutokset glykogeeni-

rastojen täyttöasteessa, joten vähähiilihydraattinen ruokavalio tai kova harjoitus testiä edeltävänä päivänä voi laskea veren laktaattipitoisuutta (Bentley ym. 2007; Faude ym. 2009). Tässä tutkimuksessa pyrittiin varmistamaan, että tutkittavat tulevat testiin täysillä glykogeenivarastoilla ohjeistamalla tutkittavia syömään riittävästi hiilihydraatteja ja pitämään ruokavalio mahdollisimman samanlaisena tutkimusjakson ajan. Ruokavaliota ei kontrolloitu, mutta painon vaihtelu eri mittauskertojen välillä ei tässä tutkimuksessa ollut normaalista päivittäisestä painonvaihtelusta poikkeavaa. Stevens ym. (2006) ovat todenneet Lohmaniin ym. (1988) viitaten, että päivittäinen painonvaihtelu voi normaalisti olla jopa 2 kg. Vaikka absoluuttisten laktaattipitoisuuksien mittaamisen toistettavuus on ollut huono, niin MLSS-teho ja sitä vastaava syke ovat olleet hyvin toistettavia (Hauser ym. 2013).

Vastoin aiempien tutkimusten tuloksia MLSS-laktaattipitoisuus ei ollut tässä tutkimuksessa korkeampi kuin anaerobisten kynnyksen laktaattipitoisuus. Tämä saattaa johtua kuormitustavasta, koska soudussa MLSS-teholla tehdyn kuormituksen laktaattipitoisuus voi jäädä alhaisemmaksi kuin lajeissa, joissa on vähemmän lihasmassaa käytössä (Beneke ym. 2001). Kuormitustavan vaikutus veren laktaattipitoisuuteen tulee ottaa huomioon kynnyksen ja harjoitusalueiden määrityksissä.

9.3 Maksimaalisen laktaatin tasapainoa vastaavan sykkeen ja hapenkulutuksen vertailu anaerobisen kynnyksen sykkeeseen ja hapenkulutukseen

Lineaarisovite-, D_{\max} -, ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä määritettyjen anaerobisten kynnyksen sykkeet ja hapenkulutukset eivät eronneet MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa mitatusta sykkeestä ja hapenkulutuksesta. Sen sijaan $\text{mod}D_{\max}$ - ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetyt anaerobista kynnystä vastaavat sykkeet ja hapenkulutukset olivat korkeampia kuin MLSS-tehoa vastaavat syke ja hapenkulutus. Anaerobisen kynnyksen ja MLSS-teholla tehdyn kuormituksen fysiologisten muuttujien erot riippuivat siis anaerobisen kynnyksen määritysmenetelmästä.

Tämän pro gradu -tutkimuksen tulokset poikkeavat aiemmista tutkimuksista, joissa on havaittu sykkeen olevan korkeampi MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa verrattuna anaerobisen kynnyksen sykkeeseen (Czuba ym. 2009; Caen ym. 2021). Sykkeen nousun MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa on arveltu johtuvan kuormituksen aikana havaitusta kehon lämpötilan noususta

(Baron ym. 2003). Sen sijaan Bourdonin ym. (2018) tutkimus oli linjassa tämän pro gradu -tutkimuksen tulosten kanssa. Bourdon ym. (2018) käyttivät kuormitustapana myös soutuergometria ja havaitsivat modD_{max} -menetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen sykkeen olevan kolmen ja neljän minuutin kuormaportailta tehdyissä nousevatehoisissa testeissä korkeampi kuin MLSS-tasolla. Sekä Bourdonin ym. (2018) että tässä pro gradu -tutkimuksessa modD_{max} -menetelmällä määritetty anaerobinen kynnys oli selkeästi korkeammalla tehoalueella kuin MLSS. Tämä on todennäköinen syy siihen, että kynnyssyke oli korkeampi kuin MLSS-syke. Joissakin tutkimuksissa ei kynnyssykkeessä ja MLSS-teholla tehdyn kuormituksen sykkeessä ole ollut eroa (Grossl ym. 2012; Van Schuylenbergh ym. 2004). Grossl ym. (2012) tutkimuksessa havaittiin kuitenkin suuri yksilöllinen vaihtelu MLSS-tehon ja anaerobisten kynnystehojen välillä. Van Schuylenbergh ym. (2004) sen sijaan käyttivät anaerobisen kynnyksen määrittämiseen tehdyssä nousevatehoisessa testissä kuuden minuutin kuormia, joka voi vaikuttaa sykkeiden nousemiseen korkeammalle kuin kolmen tai neljän minuutin kuormaportaita käytettäessä.

Hapenkulutuksen osalta Kainlaurin (2019) tutkimustulokset tukivat tämän tutkimuksen löydöstä siitä, että lineaarisovitemenetelmällä määritetyn anaerobisen kynnyksen hapenkulutus ei eroa MLSS-teholla tehdyn kuormituksen hapenkulutuksesta. Sen sijaan Czuba ym. (2009) havaitsivat hapenkulutuksen olevan korkeampi MLSS-teholla tehdyssä kuormituksessa kuin D_{max} -menetelmällä määritetyllä anaerobisella kynnyksellä. Tässä pro gradu -tutkimuksessa D_{max} -menetelmällä määritetyn kynnyksen hapenkulutus ei eronnut MLSS-tehoa vastaavasta hapenkulutuksesta. Czuban ym. (2009) tutkimuksessa hapenkulutus nousi MLSS-teholla suoritetun kuormituksen aikana. Useissa muissa tutkimuksissa kuitenkin hapenkulutus on pysynyt tasapainossa MLSS-teholla tehdyn testin aikana (Baron ym. 2003; Iannetta ym. 2018; Keir ym. 2015; Maturana ym. 2016; Pringle & Jones 2002).

Näiden tulosten perusteella voidaan ajatella, että vaikka D_{max} -menetelmää lukuun ottamatta millään anaerobisen kynnyksen menetelmällä määritetty kynnysteho ei vastannut MLSS-tehoa, niin lineaarisovite-, D_{max} -, ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä voidaan kuitenkin arvioida harjoittelusyke, jolla saavutetaan MLSS-tehoa vastaava fysiologinen tila. Tämä on sovellettavissa soutuergometrikuormitukseen. Sen sijaan OBLA (4 mmol/l) ja modD_{max} antavat selkeästi korkeammat sykearvot, eivätkä siten sovi ainakaan soutuergometrikuormituksessa määrittämään tavoitesykkeitä, jos halutaan harjoitella lähellä laktaatin tasapainoa.

9.4 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tutkimuksen vahvuutena on kohtalaisen monta tutkittavaa verrattuna moniin aihealueen aiempiin tutkimuksiin. Jotta tutkimukseen saatiin mahdollisimman monta tutkittavaa, otettiin mukaan sekä kuntourheilijoita että maajoukkueurheilijoita. Tämän takia tutkittavien kuntotaso oli vaihteleva. Tutkimuksen päätarkoituksena oli selvittää, että miten hyvin anaerobisen kynnyksen avulla voidaan arvioida MLSS-tehoa. Valmennusta ajatellen tämän arvioinnin tulisi onnistua yhtäläisesti kuntotasosta riippumatta. Siten tutkittavien kuntotason heterogeenisuus ei ole heikkous tässä tutkimuksessa, mutta toisaalta olisi mielenkiintoista lisäksi saada tutkimuksia saman kuntoisilla tutkittavilla.

Tutkittavien tausta voi soutuergometritutkimuksissa kuitenkin mahdollisesti vaikuttaa soudun taloudellisuuteen, koska soutaja joutuu itse huolehtimaan kuormitustehon pitämisestä tavoittelussa. Kokemattomammilla soutajilla on todettu tehon vaihtelun olevan suurempaa kuormituksen aikana kuin kokeneilla soutajilla. Tehon vaihtelu kuormituksen aikana saattaa vaikuttaa fysiologisiin vasteisiin. (Menz ym. 2022) Kokeneiden urheilijoiden testitulosten on todettu myös olevan toistettavampia kuin kokemattomampien (Hopkins ym. 2001).

Tutkimuksessa ei löydetty määritelmän mukaista laktaattipitoisuuden tasapainoa kaikille. Joillekin tutkittaville olisi pitänyt tehdä vielä ainakin yksi tasavauhtinen kuormitus, jotta MLSS olisi saavutettu. Ylimääräisten testien tekeminen ei kuitenkaan ollut aikataulun puitteissa mahdollista. Tämä voi mahdollisesti vääristää tutkimuksen tuloksia, koska niillä tutkittavilla, joilla MLSS-tehoa ei löydetty, oli kaikkein suurin ero määritelmän mukaisen MLSS-tehon ja anaerobisen kynnystehon välillä. Näitä tutkittavia ei kuitenkaan voitu ottaa mukaan MLSS-tehon ja kynnystehon vertailuun, koska MLSS-tehoa ei ollut tiedossa.

Tutkimuksessa ei kontrolloitu ruokavaliota tai edellisten päivien harjoittelua tarkasti, vaikka glykogeenivarastojen koko ja nestetasapaino vaikuttavat veren laktaattipitoisuuteen (Faude ym. 2009). Tutkittaville annettiin ohjeet ruokavalioiden pitämisestä hiilihydraattipainotteisena ja samanlaisena tutkimusjakson ajan sekä kehoitettiin pitämään mittauksia edeltävät päivät harjoittelun osalta kevyenä. Näitä tekijöitä ei kuitenkaan kontrolloitu muilla tavoin kuin painonvaihdelun seurannalla pyrittiin sulkemaan pois isot muutokset ruokavaliosta tai nestetasapainossa.

Mittauksia ei tehty laboratorio-olosuhteissa, minkä vuoksi olosuhteiden tarkka vakiointi ei ollut mahdollista. Olosuhteet vakioitiin eri mittauskertojen välillä niin hyvin kuin mahdollista, eikä lämpötiloissa ollutkaan yhtä poikkeusta lukuun ottamatta vaihtelua. Sen sijaan ilman kosteudessa oli vaihtelua, mutta ilman kosteus ei kuitenkaan ollut millään kerralla yli 60 %.

Tutkittaviin liittyvä tuloksiin vaikuttava asia on myös harjoituskauden ajankohta. Tämä tutkimus tehtiin syys-marraskuussa soudun kilpailukauden jälkeen. Kesän aikana soutajat harjoittelevat yleensä erittäin vähän soutuergometrillä, jolloin ergometriharjoittelu ei ole välttämättä taloudellista. Tämä voi mahdollisesti vaikuttaa tuloksiin etenkin pitkässä tasavauhtisessa testissä. Tämän vuoksi myös harjoitusvaikutus tutkimuksen aikana on mahdollinen, kun ergometrisoutu taloudellistuu ergometrisoutukertojen lisääntyessä.

9.5 Johtopäätökset

Tämän pro gradu -tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nousevatehoisesta kuormituksesta D_{max} -menetelmällä määritetty anaerobinen kynnys vastasi keskimäärin MLSS-tehoa sou-tuergometrikuormituksessa. Sen sijaan Lineaarisovite-, $modD_{max}$ -, OBLA (3 mmol/l) ja OBLA (4 mmol/l) -menetelmillä määritetyt anaerobisten kynnysten tehot eivät vastanneet määritelmän mukaista MLSS-tehoa. D_{max} -menetelmäkään ei toiminut kaikilla yksilöillä. Jos tavoitteena on harjoitella teholla, jolla veren laktaattipitoisuus pysyy tasapainossa, on syytä määrittää sopiva teho tasavauhtisissa testeissä tai harjoitusten yhteydessä tehtävillä laktaattimittauksilla.

Nousevatehoisen testin avulla saadaan monipuolisesti tietoa urheilijan kunnosta. Nousevatehoiset VO_{2max} - ja kynnystestit ovat siten tärkeä osa urheilijan testausta, vaikka niiden avulla ei pystyisikään tarkkaa MLSS-tehoa ennustamaan. Lisää tietoa tarvitaan kuitenkin vielä esimerkiksi tämänhetkisen MLSS-määritelmän mielekkyydestä eri yksilöillä, eri lajeissa ja optimaalista harjoittelua ajatellen.

9.6 Käytännön sovellukset

Tässä pro gradu -tutkimuksessa käytetyt anaerobisen kynnyksen määrittämiseen tarkoitettut matemaattiset mallit eivät ennustaneet luotettavasti MLSS-tehoa. Matemaattiset mallit antavat objektiivisia tuloksia ja nopeuttavat kuntotestitulosten analysointia ja tulkintaa. Matemaattisten mallien lisäksi on hyvä kuitenkin käyttää kokeneen testaajan tai valmentajan asiantuntemusta kuntotestitulosten tulkinnassa. On huomioitava, että anaerobisen kynnyksen eri määritysmenetelmät antavat toisistaan poikkeavia tuloksia. Näin ollen harjoittelun ja kunnon kehityksen seuranta varten on tärkeää käyttää joka kerta samaa menetelmää.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että vaikka VO_{2max} -testistä määritetyt anaerobiset kynnystehot eivät vastanneet MLSS-tehoa, niin lineaarisovite-, D_{max} - ja OBLA (3 mmol/l) -menetelmillä määritetyt anaerobiset kynnysyykkeet vastasivat MLSS-teholla tehdyn kuormituksen lopun sykettä. Näin ollen nousevatehoisesta testistä määritettyä anaerobista kynnysykyä voidaan käyttää harjoittelun ohjauksessa, kun halutaan harjoitella laktaatin tasapainoalueella. On kuitenkin huomioitava, että tämä ei päde kaikkiin anaerobisen kynnyksen määritysmenetelmiin.

LÄHTEET

- American College of Sports Medicine, Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G. & Magal, M. (2018). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 10. painos. Wolters Kluwer, 79–94.
- Baron, B., Dekerle, J., Robin, S., Neviere, R., Dupont, L., Matran, R., Vanvelcenaher, J., Robin, H., Pelayo, P. (2003). Maximal Lactate Steady State Does Not Correspond to a Complete Physiological Steady State. *International journal of sports medicine* 24 (8), 582–587. doi:10.1055/s-2003-43264.
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (1), 70–84. doi:10.1097/00005768-200001000-00012.
- Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady-state in rowing. *Medicine and science in sports and exercise* 27 (6), 863–867. doi:10.1249/00005768-199506000-00010.
- Beneke, R. (2003a). Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches. *European Journal of Applied Physiology* 88, 361–369. doi:10.1007/s00421-002-0713-2.
- Beneke, R. (2003b). Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing. *European journal of applied physiology* 89 (1), 95–99. doi:10.1007/s00421-002-0783-1.
- Beneke, R., Hütler, M. & Leithäuser, R. M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (6), 1135–1139. doi:10.1097/00005768-200006000-00016.
- Beneke, R., Hütler, M., Von Duvillard, S. P., Sellens, M. & Leithäuser, R. M. (2003). Effect of Test Interruptions on Blood Lactate during Constant Workload Testing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35 (9), 1626–1630. doi:10.1249/01.MSS.0000084520.80451.D5.
- Beneke, R., Leithäuser, R. M. & Hütler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British journal of sports medicine* 35 (3), 192–196. doi:10.1136/bjism.35.3.192.
- Beneke, R., Leithäuser, R. M. & Ochentel, O. (2011). Blood Lactate Diagnostics in Exercise Testing and Training. *International journal of sports physiology and performance* 6 (1), 8–24. doi:10.1123/ijsp.6.1.8.

- Bentley, D. J., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 37 (7), 575–586. doi:10.2165/00007256-200737070-00002.
- Billat, V., Dalmay, F., Antonini, M. T., & Chassain, A. P. (1994). A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 69 (3), 196–202. doi:10.1007/BF01094788.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J. & Mercier, J. (2003). The Concept of Maximal Lactate Steady State: A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Medicine* 33 (6), 407–426. doi:10.2165/00007256-200333060-00003.
- Binder, R. K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H. & Schmid, J. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European Journal of Preventive Cardiology* 15 (6), 726–734. doi:10.1097/HJR.0b013e328304fed4.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30 (8), 1270–1275.
- Blervaque, L., Bowen, M., Chatel, B., Corbex, E., Dalmais, E. & Messonnier, L.A. (2022). Is the Energy Cost of Rowing a Determinant Factor of Performance in Elite Oarsmen? *Frontiers in Physiology* 13, 138–146. doi:10.3389/fphys.2022.827932.
- Boland, M., Crotty, N. M., Mahony, N., Donne, B., & Fleming, N. (2022). A Comparison of Physiological Response to Incremental Testing on Stationary and Dynamic Rowing Ergometers, *International Journal of Sports Physiology and Performance* 17 (4), 515–522. doi:10.1123/ijsp.2021-0090.
- Bonaventura, J. M., Sharpe, K., Knight, E., Fuller, K. L., Tanner, R. K. & Gore, C. J. (2015). Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. *Journal of sports science & medicine* 14 (1), 203–214.
- Bosquet, L., Léger, L. & Legros, P. (2002). Methods to Determine Aerobic Endurance. *Sports Medicine* 32, 675–700. doi:10.2165/00007256-200232110-00002.
- Bourdin, M., Lacour, J., Imbert, C. & Messonnier, L. A. (2017). Factors of Rowing Ergometer Performance in High-Level Female Rowers. *International journal of sports medicine* 38 (13), 1023–1028. doi:10.1055/s-0043-118849.

- Bourdon, P. (2013). Blood Lactate Thresholds: Concepts and Applications. Teoksessa Tanner, R.K. & Gore, C.J. (toim.) *Physiological Test for Elite Athletes*. 2. painos. Australian Institute of Sport, 77–102.
- Bourdon, P. C., Woolford, S. M. & Buckley, J. D. (2018). Effects of Varying the Step Duration on the Determination of Lactate Thresholds in Elite Rowers. *International journal of sports physiology and performance* 13 (6), 687-693. doi:10.1123/ijsp.2017-0258.
- Bourgois, J., & Vrijens, J. (1998). Metabolic and cardiorespiratory responses in young oarsmen during prolonged exercise tests on a rowing ergometer at power outputs corresponding to two concepts of anaerobic threshold. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 77 (1–2), 164–169. doi:10.1007/s004210050315.
- Bräuer, E. K., & Smekal, G. (2020). VO₂ Steady State at and Just Above Maximum Lactate Steady State Intensity. *International journal of sports medicine* 41 (9), 574–581. doi:10.1055/a-1100-7253.
- Buckley, J., Bourdon, P. & Woolford, S. (2003). Effect of measuring blood lactate concentrations using different automated lactate analysers on blood lactate transition thresholds. *Journal of science and medicine in sport* 6 (4), 408–421. doi:10.1016/S1440-2440(03)80267-0.
- Caen, K., Pogliaghi, S., Lievens, M., Vermeire, K., Bourgois, J. G., & Boone, J. (2021). Ramp vs. step tests: valid alternatives to determine the maximal lactate steady-state intensity? *European journal of applied physiology* 121 (7), 1899–1907. doi:10.1007/s00421-021-04620-9.
- Cerezuela-Espejo, V., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., & Pallarés, J. G. (2018). The Relationship Between Lactate and Ventilatory Thresholds in Runners: Validity and Reliability of Exercise Test Performance Parameters. *Frontiers in physiology* 9, 1320. doi:10.3389/fphys.2018.01320.
- Chalmers, S., Esterman, A., Eston, R. & Norton, K. (2015). Standardization of the Dmax method for calculating the second lactate threshold. *International journal of sports physiology and performance* 10 (7), 921–926. doi:10.1123/ijsp.2014-0537.
- Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H. A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International journal of sports medicine* 13 (7), 518–522. doi:10.1055/s-2007-1021309.
- Canadian Society for Exercise Physiology. (2017). PAR-Q-kysely. https://csep.ca/wp-content/uploads/2021/05/GETACTIVEQUESTIONNAIRE_ENG.pdf. Viitattu 5.6.2022

- Czuba, M., Zając, A., Cholewa, J., Poprzęcki, S., Waśkiewicz, Z. & Mikołajec, K. (2009). Lactate Threshold (D-Max Method) and Maximal Lactate Steady State in Cyclists. *Journal of Human Kinetics* 21, 49–56. doi:10.2478/v10078-09-0006-5.
- Denadai, B. S., Figueira, T. R., Figuera, T. R., Favaro, O. R. P. & Gonçalves, M. (2004). Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. *Brazilian journal of medical and biological research* 37 (10), 1551–1556. doi:10.1590/S0100-879X2004001000015.
- de Barros, C. L. M., Mendes, T. T., Mortimer, L. Á. C. F., Simões, H. G., Prado, L. S., Wisloff, U. & Silami-Garcia, E. (2011). Maximal Lactate Steady State is Altered in the Heat. *International journal of sports medicine* 32(10), 749-753. doi:10.1055/s-0031-1277191.
- de Souza, K. M. d., Grossl, T., Junior, R. J. B., Lucas, R. D. d., Costa, V. P., & Guglielmo, L. G. A. (2012). Maximal lactate steady state estimated by different methods of anaerobic threshold. *Revista brasileira de cineantropometria & desempenho humano* 14 (3), 264–275. doi:10.5007/1980-0037.2012v14n3p264.
- di Prampero P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European journal of applied physiology* 90 (3-4), 420–429. doi:10.1007/s00421-003-0926-z
- EKF Diagnostics. 2023. Lactate analyzer specifications. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2023. <https://www.ekfdiagnostics.com/lactate-scout-plus.html>
- Fabre, N., Balestreri, F., Pellegrini, B. & Schena, F. (2010). The Modified Dmax Method is Reliable to Predict the Second Ventilatory Threshold in Elite Cross-Country Skiers. *Journal of strength and conditioning research* 24 (6), 1546–1552. doi:10.1519/JSC.0b013e3181dc450a.
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate Threshold Concepts: How Valid are They? *Sports medicine (Auckland)* 39 (6), 469-490. doi:10.2165/00007256-200939060-00003.
- Ferguson, B. S., Rogatzki, M. J., Goodwin, M. L., Kane, D. A., Rightmire, Z. & Gladden, L. B. (2018). Lactate metabolism: Historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *European journal of applied physiology* 118 (4), 691–728. doi:10.1007/s00421-017-3795-6.
- Ferretti, G. (2014). Maximal oxygen consumption in healthy humans: Theories and facts. *European Journal of Applied Physiology* 114 (10), 2007–36. doi:10.1007/s00421-014-2911-0.

- Figueira, T. R., Caputo, F., Pelarigo, J. G. & Denadai, B. S. (2007). Influence of exercise mode and maximal lactate-steady-state concentration on the validity of OBLA to predict maximal lactate-steady-state in active individuals. *Journal of science and medicine in sport* 11 (3), 280–286. doi:10.1016/j.jsams.2007.02.016.
- Fitts, Robert H. (2016) The Role of Acidosis in Fatigue: Pro Perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48 (11), 2335–2338. doi: 10.1249/MSS.0000000000001043
- Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin medical journal* 95 (6), 370–374.
- Gastin, P. B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine* 31 (10), 725–741. doi:10.2165/00007256-200131100-00003.
- Greco, C. C., Correa Carita, R. A., Deckerle, J. & Denadai, B. S. (2012). Effect of aerobic training status on both maximal lactate steady state and critical power. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 37 (4), 736–743. doi:10.1139/H2012-047.
- Grossl, T., De Lucas, R. D., De Souza, K. M., & Antonacci Guglielmo, L. G. (2012). Maximal lactate steady-state and anaerobic thresholds from different methods in cyclists. *European journal of sport science* 12 (2), 161–167. doi:10.1080/17461391.2010.551417.
- Harnish, C. R., Swensen, T. C., & Pate, R. R. (2001). Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (6), 1052–1055. doi:10.1097/00005768-200106000-00027.
- Hauser, T., Adam, J. & Schulz, H. (2014). Comparison of Selected Lactate Threshold Parameters with Maximal Lactate Steady State in Cycling. *International journal of sports medicine* 35 (6), 517–521. doi:10.1055/s-0033-1353176.
- Hauser, T., Bartsch, D., Baumgärtel, L. & Schulz, H. (2013). Reliability of Maximal Lactate-Steady-State. *International Journal of Sports Medicine* 34, 196–199. doi:10.1055/s-0032-1321719.
- Heuberger, J. A. A. C., Gal, P., Stuurman, F. E., de Muinck Keizer, W., A. S., Mejia Miranda, Y., & Cohen, A. F. (2018). Repeatability and predictive value of lactate threshold concepts in endurance sports. *PloS One* 13 (11), 1. doi:10.1371/journal.pone.0206846.
- Hill, D. W., McFarlin, B. K., & Vingren, J. L. (2021). Exercise above the maximal lactate steady state does not elicit a $\dot{V}O_2$ slow component that leads to attainment of $\dot{V}O_{2max}$. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 46 (2), 133–139. doi:10.1139/apnm-2020-0261.

- Hoefelmann, C. P., Diefenthaler, F., Costa, V. P., de Lucas, R. D., Shambrook, P., & Guglielmo, L. G. (2015). Test-retest reliability of second lactate turnpoint using two different criteria in competitive cyclists. *European journal of sport science* 15 (4), 265–270. doi:10.1080/17461391.2014.944874.
- Hoffmann, S., Skinner, T., van Rosendal, S., Osborne, M., Emmerton, L. & Jenkins, D. (2020). The Efficacy of the Lactate Threshold: A Sex-Based Comparison. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34 (11), 3190-3198. doi:10.1519/JSC.0000000000002654.
- Hopkins, W. G., Schabert, E. J., & Hawley, J. A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 31 (3), 211–234. doi:10.2165/00007256-200131030-00005.
- Iannetta, D., Inglis, E. C., Fullerton, C., Passfield, L., & Murias, J. M. (2018). Metabolic and performance-related consequences of exercising at and slightly above MLSS. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 28 (12), 2481–2493. doi:10.1111/sms.13280.
- Iannetta, D., Ingram, C. P., Keir, D. A., & Murias, J. M. (2022). Methodological Reconciliation of CP and MLSS and Their Agreement with the Maximal Metabolic Steady State. *Medicine and science in sports and exercise* 54 (4), 622–632. doi:10.1249/MSS.0000000000002831,.
- Ingham, S. A., Pringle, J. S., Hardman, S. L., Fudge, B. W. & Richmond, V. L. (2013). Comparison of step-wise and ramp-wise incremental rowing exercise tests and 2000-m rowing ergometer performance. *International journal of sports physiology and performance* 8 (2), 123–129. doi:10.1123/ijsp.8.2.123.
- Ingham, S. S., Whyte, G. G., Jones, K. K., & Nevill, A. A. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European Journal of Applied Physiology* 88 (3), 243-6. doi:10.1007/s00421-002-0699-9.
- Jamnick, N. A., Botella, J., Pyne, D. B. & Bishop, D. J. (2018). Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂peak. *PLoS ONE* 13 (7): e0199794. doi:10.1371/journal.pone.0199794.
- Jamnick, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B. & Bishop, D. J. (2020). An Examination and Critique of Current Methods to Determine Exercise Intensity. *Sports medicine (Auckland)* 50 (10) 1729–1756. doi:10.1007/s40279-020-01322-8.
- Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., & Vanhatalo, A. (2019). The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiological reports* 7 (10), e14098. doi:10.14814/phy2.14098.

- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *The Journal of Physiology* 586, 35–44. doi:10.1113/jphysiol.2007.143834.
- Kainlauri, V. (2019). Sykkeen, veren laktaattipitoisuuden ja hengitysmuuttujien toistettavuus anaerobisella kynnyksellä. Jyväskylän yliopisto. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Valmennus- ja testausoppi. Pro Gradu -tutkielma. Viitattu 8.5.2022. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ju-201912035095>
- Kallinen, M., Kujala, U. & Tikkanen, H. (2018). Fyysisen kunnan mittaamiseen liittyvien terveysriskien arviointi ja testaamisen turvallisuusnäkökohdat. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) Fyysisen kunnan mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Liikuntatieteellinen Seura, 29–45.
- Keir, D. A., Fontana, F. Y., Robertson, T. C., Murias, J. M., Paterson, D. H., Kowalchuk, J. M., & Pogliaghi, S. (2015). Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. *Medicine and science in sports and exercise* 47 (9), 1932–1940. doi:10.1249/MSS.0000000000000613.
- Laplaud, D., Guinot, M., Favre-Juvin, A. & Flore, P. (2006). Maximal lactate steady state determination with a single incremental test exercise. *European journal of applied physiology* 96 (4), 446-452. doi:10.1007/s00421-005-0086-4.
- Levine, B. D. (2008). VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? *The Journal of Physiology* 586, 25–34. doi:10.1113/jphysiol.2007.147629.
- Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M. & Hallén, J. (2013). Seasonal Variations in VO₂max, O₂-Cost, O₂-Deficit, and Performance in Elite Cross-Country Skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (7), 1780-1790. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6.
- Lucia, A., Hoyos, J., Perez, M., Santalla, A. & Chicharro, J. L. (2002). Inverse relationship between VO₂max and economy/efficiency in world-class cyclists. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (12), 2079–2084.
- Martin-Rincon, M. & Calbet J. A. L. (2020). Progress Update and Challenges on VO₂max Testing and Interpretation. *Frontiers in Physiology* 11, 1070. doi: 10.3389/fphys.2020.01070.
- Maturana, F. M., Keir, D. A., McLay, K. M. & Murias, J. M. (2016). Can measures of critical power precisely estimate the maximal metabolic steady-state?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 41 (11), 1197–1203. doi:10.1139/apnm-2016-0248.

- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R. JR., Thompson, D. L. & Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the Classic Model for Predicting Endurance Running Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 42 (5), 991–997. doi:10.1249/MSS.0b013e3181c0669d.
- Mentz, L., Winkert, K., Schlegel, S., Rohlmann, F., Steinacker, J. M., & Treff, G. (2022). Variability of mechanical power output in elite rowers during ergometer testing. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 73, 61–69. doi:10.5960/dzsm.2021.517.
- Morton, R. H., Stannard, S. R., & Kay, B. (2012). Low reproducibility of many lactate markers during incremental cycle exercise. *British Journal of Sports Medicine* 46 (1), 64–69. doi:10.1136/bjism.2010.076380.
- Mäkinen, T. (2019). KLAB-ohjelman luotettavuus juoksun anaerobisen kynnysvauhdin arvioinnissa kestävyysharjoitelleilla. Jyväskylän yliopisto. Liikuntatieteellinen tiedekunta. Valmennus- ja testausoppi. Kandidaatintutkielma.
- Nevill, A.M., Allen, S.V. & Ingham, S.A. (2011). Modelling the determinants of 2000 m rowing ergometer performance: a proportional, curvilinear allometric approach. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21, 73-78. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01025.x.
- Newell, J., Higgins, D., Madden, N., Cruikshank, J., Einbeck, J., McMillan, K. & McDonald, R. (2007). Software For Calculating Blood Lactate Endurance Markers. *Journal of Sports Sciences* 25 (12),1403–1409. doi:10.1080/02640410601128922.
- Nicholson, R. M. & Sleivert, G. G. (2001). Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (2), 339–343.
- Nixon, R. J., Kranen, S. H., Vanhatalo, A. & Jones, A. M. (2021). Steady-state $\dot{V}O_2$ above MLSS: evidence that critical speed better represents maximal metabolic steady state in well-trained runners. *European Journal of Applied Physiology* 121, 3133–3144. doi:10.1007/s00421-021-04780-8.
- Nummela, A. (2010). Aerobisen kestävyuden suorat mittausmenetelmät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) Kuntotestauksen käsikirja. 2. uudistettu painos. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu 161, 64–78.
- Nummela, A. (2016a). Energia-aineenvaihdunta. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. (toim.) Huippu-urheiluvallmennus: Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. VK-Kustannus Oy, 128–139.

- Nummela, A. (2016b). Kestävyysharjoittelu. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. (toim.) Huippu-urheiluvalmennus: Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. VK-Kustannus Oy, 272–283.
- Nummela, A. & Häkkinen, K. (2016) Kestävyys- ja voimaharjoittelun yhdistäminen. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. (toim.) Huippu-urheiluvalmennus: Teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa. VK-Kustannus Oy, 284–289.
- Nummela, A. & Peltonen, J. (2018a). Suorat testit. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) Fyysisen kunnan mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Liikuntatieteellinen Seura, 79–101.
- Nummela, A. & Peltonen, J. (2018b). Testien ja mittausten käyttö harjoittelun seurannassa. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) Fyysisen kunnan mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Liikuntatieteellinen Seura, 145–152.
- Paavolainen, L. (1999). Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of running performance in endurance athletes: With special reference to explosive-strength training. University of Jyväskylä. Studies in Sport, Physical Education and Health 63. Väitöskirja. Viitattu 8.5.2022. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-7992-8>
- Pallarés, J. G., Morán-Navarro, R., Ortega, J. F., Fernández-Elías, V. E. & Mora-Rodríguez, R. (2016). Validity and Reliability of Ventilatory and Blood Lactate Thresholds in Well-Trained Cyclists. *PloS one* 11 (9), doi:10.1371/journal.pone.0163389.
- Peltonen, J. & Nummela, A. (2018). Kestävyyden fysiologiset perusteet. Teoksessa Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M., Aartolahti, E. & Kuivalainen, J. (toim.) Fyysisen kunnan mittaaminen: Käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Liikuntatieteellinen Seura, 64–78.
- Płoszczyca, K., Jazic, D., Piotrowicz, Z., Chalimoniuk, M., Langfort, J. & Czuba, M. (2020). Comparison of maximal lactate steady state with anaerobic threshold determined by various methods based on graded exercise test with 3-minute stages in elite cyclists. *BMC sports science, medicine & rehabilitation* 12 (1), 70. doi:10.1186/s13102-020-00219-3.
- Poole, D. C. & Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake VO₂max: VO₂peak is no longer acceptable. *Journal of applied physiology* 122 (4), 997. doi:10.1152/jappphysiol.01063.2016.
- Possamai, L. T., Borszcz, F. K., de Aguiar, R. A., de Lucas, R. D. & Turnes, T. (2021). Agreement of maximal lactate steady state with critical power and physiological thresholds in

- rowing, *European Journal of Sport Science* 22 (3), 371–380, doi:10.1080/17461391.2021.1874541.
- Pringle, J. S., & Jones, A. M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European journal of applied physiology* 88 (3), 214–226. doi:10.1007/s00421-002-0703-4.
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Pokan, R., Hofmann, P., Braun, W. A., Arciero, P. J., Bachl, N. (2012). Blood lactate concentration at the maximal lactate steady state is not dependent on endurance capacity in healthy recreationally trained individuals. *European journal of applied physiology* 112 (8), 3079–3086. doi:10.1007/s00421-011-2283-7.
- Smith, C. G., & Jones, A. M. (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European journal of applied physiology* 85 (1–2), 19–26. doi:10.1007/s004210100384.
- Stevens, J., Truesdale, K. P., McClain, J. E., & Cai, J. (2006). The definition of weight maintenance. *International journal of obesity* 30 (3), 391–399. doi:10.1038/sj.ijo.0803175.
- Svedahl, K. & MacIntosh, B. R. (2003). Anaerobic Threshold: The Concept and Methods of Measurement. *Canadian journal of applied physiology* 28 (2), 299–323. doi:10.1139/h03-023.
- Taylor, H.L., Buskirk, E. & Henschel, A. (1955). Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance. *Journal of Applied Physiology* 8 (1), 73–80. doi:10.1152/jappl.1955.8.1.73.
- Tran, J., Rice, A. J., Main, L. C. & Gatin, P. B. (2015). Profiling the Training Practices and Performance of Elite Rowers. *International journal of sports physiology and performance* 10 (5), 572-580. doi:10.1123/ijsp.2014-0295.
- Turnes, T., Santos, R. P. D., De Aguiar, R. A., Loch, T., Possamai, L. T. & Caputo, F. (2019). Association Between Deoxygenated Hemoglobin Breaking-Point, Anaerobic Threshold and Rowing Performance. *International journal of sports physiology and performance* 14 (8), 1-1109. doi:10.1123/ijsp.2018-0675.
- Tyka, A., Pałka, T., Tyka, A., Cisoń, T. & Szyguła, Z. (2009). The influence of ambient temperature on power at anaerobic threshold determined based on blood lactate concentration and myoelectric signals. *International journal of occupational medicine and environmental health* 22(1), 1-6. doi:10.2478/v10001-009-0005-8.
- Van Schuylenbergh, R., Vanden Eynde, B. & Hespel, P. (2004). Correlations Between Lactate and Ventilatory Thresholds and the Maximal Lactate Steady State in Elite Cyclists. *International journal of sports medicine* 25 (6), 403–408. doi:10.1055/s-2004-819942.

- Vogler, A. J., Rice, A. J. & Gore, C. J. (2010). Physiological responses to ergometer and on-water incremental rowing tests. *International journal of sports physiology and performance* 5 (3), 342-358. doi:10.1123/ijsp.5.3.342.
- Wahl, P., Manunzio, C., Zwingmann, L., van de Weyer, S., & Bloch, W. (2021). Reverse lactate threshold test accurately predicts maximal lactate steady state and 5 km performance in running. *Biology of sport* 38 (2), 285–290. doi:10.5114/biolsport.2021.99326.
- Yaeger, D., Murphy, K., Winger, J. & Stavrianeas, S. (2018). A Two-test Protocol for the Precise Determination of the Maximal Lactate Steady State. *International journal of exercise science* 11 (4), 681–695.

LIITE 1. Terveys- ja taustakysely

TERVEYS- JA TAUSTAKYSELY

Tutkittava (koodi): _____

Terveys

Onko sinulla ollut joku seuraavista diagnooseista tai oireista viimeisen 6 kuukauden aikana (ympyröi oikea vaihtoehto)?

1. Diagnoosi sydänsairaudesta tai rintakipu ja tai rytmihäiriöitä? kyllä/ei
2. Diagnoosi korkeasta verenpaineesta? kyllä/ei
3. Huimauksia liikunnan aikana? kyllä/ei
4. Hengenahdistusta levossa? kyllä/ei
5. Tajunnan hämärtymistä tai pyörtymistä? kyllä/ei
6. Aivotärähdys? kyllä/ei

Onko sinulla tällä hetkellä kipua tai turvotusta jossain osassa kehoa, mikä vaikeuttaa liikkumista? kyllä/ei

Onko lääkäri kehottanut sinua välttämään tiettytyyppistä liikuntaa? kyllä/ei

Onko sinulla jotain muuta lääketieteellistä tilaa, joka vaikuttaa kykyysi liikkua? kyllä/ei

Kestävyysharjoittelutausta

Kuinka pitkään olet tehnyt kestävyysharjoittelua (vuotta)? _____

Kuinka pitkään olet tehnyt soutuharjoittelua (vuotta)? _____

Kestävyysharjoitteluaktiivisuus viimeisen 6 kuukauden aikana.

Kuinka paljon kestävyysharjoittelua teet keskimäärin viikossa (krt ja aika)?

Kuinka paljon soutuharjoittelua (soutu vesillä tai sisäsoutu) teet keskimäärin viikossa (krt ja aika)?

LIITE 2. Ohjeet testiin valmistautumiseen

OHJEET TESTIIN VALMISTAUTUMISEEN

Valmistaudu tulevaan testiin seuraavien ohjeiden mukaisesti.

Testiä edeltävänä päivänä ei tule tehdä raskasta fyysistä kuormitusta. Edeltävänä päivänä voi olla lepopäivä tai korkeintaan kevyt kestävyysharjoitus. Mahdollisuuksien mukaan huolehdi muutenkin hyvästä palautumisesta ja riittävästä yöunesta ennen testiä.

Vähintään 3 tuntia ennen testiä ei tule nauttia raskasta ateriaa, kofeiinipitoisia juomia tai nikotiinituotteita. Ennen testiä kannattaa syödä kevyt hiilihydraattipitoinen välipala.

Edeltävien päivien ravinnon ja testiä edeltävän aterian tulisi olla hiilihydraattipainotteinen. Varmista muutenkin riittävä hiilihydraattien saanti koko testijakson ajan ja pyri pitämään ruokavalio mahdollisimman samanlaisena testijakson aikana.

Alkoholia ei tule käyttää testiä edeltävänä vuorokautena eikä ennen testiä.

Testiin ei voi tulla sairaana, toipilaana tai loukkaantuneena (esim. tuki- ja liikuntaelimen kipu, joka pahenee kuormituksessa).

Pukeudu normaaleihin harjoitteluvaatteisiisi ja jalkineisiin. Suositeltavaa on pukeutua hihalliseen tai leveäolkaimiseen paitaan, koska päälle puettavat hengityskaasuanalysaattorin valjaat saattavat muuten aiheuttaa hiertymiä.

LIITE 3. Kuormaporrastaulukko.

		kuormaporras	1	2	3	4	5	6	7	8	
		% 2 km ajasta	40	48	56	64	72	80	88	maksimi	
2km aika	aika/500m	2km teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	teho (W)	kuormanosto (W)
09:00,0	02:15,0	142	57	68	80	91	102	114	125	max	11
08:50,0	02:12,5	151	60	72	84	96	108	120	132	max	12
08:40,0	02:10,0	159	64	76	89	102	115	127	140	max	13
08:30,0	02:07,5	169	68	81	95	108	122	135	149	max	14
08:20,0	02:05,0	179	72	86	100	115	129	143	158	max	14
08:10,0	02:02,5	190	76	91	107	122	137	152	168	max	15
08:00,0	02:00,0	203	81	97	113	130	146	162	178	max	16
07:50,0	01:57,5	216	86	104	121	138	155	173	190	max	17
07:40,0	01:55,0	230	92	110	129	147	166	184	202	max	18
07:30,0	01:52,5	246	98	118	138	157	177	197	216	max	20
07:20,0	01:50,0	263	105	126	147	168	189	210	231	max	21
07:10,0	01:47,5	282	113	135	158	180	203	225	248	max	23
07:00,0	01:45,0	302	121	145	169	193	218	242	266	max	24
06:50,0	01:42,5	325	130	156	182	208	234	260	286	max	26
06:40,0	01:40,0	350	140	168	196	224	252	280	308	max	28
06:30,0	01:37,5	378	151	181	211	242	272	302	332	max	30
06:20,0	01:35,0	408	163	196	229	261	294	327	359	max	33
06:10,0	01:32,5	442	177	212	248	283	318	354	389	max	35
06:00,0	01:30,0	480	192	230	269	307	346	384	422	max	38
05:50,0	01:27,5	522	209	251	293	334	376	418	460	max	42

LIITE 4. Kuormitustuntemustaulukko

RPE-TAULUKKO

Subjektiiivinen rasitustuntemus kehon kuormittuneisuudesta (RPE eli Rating of Perceived Exertion) (Foster ym. 1996; Nummela & Peltonen 2018b). Rasitustuntemusta kysytään testien aikana näytteenottoaikailla sekä testin lopussa.

RPE-taulukko 0–10

- 0 lepo
- 1 todella helppo
- 2 helppo
- 3 kohtalainen
- 4 melko raskas
- 5 raskas
- 6
- 7 hyvin raskas
- 8
- 9 erittäin raskas
- 10 kuten raskain kilpailu