

**SYKKEEN, VEREN LAKTAATTIPITOISUUDEN JA HENGITYSMUUTTUJEN  
TOISTETTAVUUS ANAEROBISELLA KYNNYKSELLÄ**

Viivi Kainlauri

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2019

Työnohjaajat: Juha Ahtiainen & Ari Nummela

## TIIVISTELMÄ

Kainlauri, V. 2019. Sykkeen, veren laktaattipitoisuuden ja hengitysmuuttujien toistettavuus anaerobisella kynnyksellä. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 64 s., 2 liitettä.

**Johdanto.** Urheilijoiden testauksen ja valmennuksen parissa on tärkeää ymmärtää suorituskyvyn vaihtelu päivien välillä. Myös kynnyksiä määritettäessä on tärkeää huomioida eri määrittämenetelmien vahvuudet ja heikkoudet. Anaerobisella kynnyksellä pyritään arvioimaan laktaatin maksimaalista tasapainotilaa eli MLSS (maximal lactate steady state) -tasoa. MLSS-tasolla laktaatin tuotto ja poisto on tasapainossa. Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla sykkeen, veren laktaattipitoisuuden, hapenkulutuksen ( $VO_2$ ), hiilidioksidin tuoton ( $VCO_2$ ), RER (respiratory exchange ratio) -arvon ja ventilaation (VE) toistettavuutta anaerobisella kynnyksellä juostussa tasavauhtisessa kuormituksessa ja arvioida K-Lab-määrittämenetelmän toimivuutta anaerobisen kynnyksen määrittäyksessä.

**Menetelmät.** Tutkimukseen osallistui 11 mieskestävyysliikkuja (ikä 32,8 (KH = 6,5) v, pituus 177,5 (3,1) cm, paino 73,6 (5,8) kg ja  $VO_{2max}$  52,9 (4,7) ml/kg/min) ja 14 naiskestävyysliikkuja (ikä 28,7 (7,7) v, pituus 167,8 (4,6) cm, paino 61,9 (4,3) kg ja  $VO_{2max}$  50,1 (6,3) ml/kg/min). He suorittivat neljä mittauskertaa juoksumatolla neljänä eri päivänä (3–5 vuorokauden välein). Ensimmäisellä mittauskerralla määritettiin  $VO_{2max}$ -testistä anaerobinen kynnyks K-Lab-ohjelman avulla ja seuraavana kolmena mittauskertana juostiin 30 minuutin tasavauhtinen kuormitus määritetyllä kynnyksnopeudella. Kaikissa kuormituksissa mitattiin syke,  $VO_2$ ,  $VCO_2$  ja VE koko kuormituksen ajan. Veren laktaattipitoisuus mitattiin  $VO_{2max}$ -testissä kolmen minuutin välein ja tasavauhtisissa kuormituksissa 10, 15, 20, 25 ja 30 minuutin jälkeen. Juoksumatto pysäytettiin laktaatin oton ajaksi. RPE (rate of perceived exertion) kysyttiin tasavauhtisissa kuormituksissa minuutti ennen laktaatin mittausta.

**Tulokset.** Tutkittavien maksimaalinen nopeus  $VO_{2max}$ -testissä oli 16,5 (1,5) km/h (miehet 17,3 (1,5) km/h ja naiset 15,9 (1,2) km/h). Tasavauhtisissa kuormituksissa laktaatin variaatio-kerroin (CV) kuormitusten välillä oli 13,9 %, RPE:n 4,5 %, VE:n 4,0 %,  $VCO_2$ :n 3,3 %,  $VO_2$ :n 3,1 %, RER:n 2,5 % ja sykkeen 1,5 %. Keskiarvoissa ei kuormitusten välillä ollut merkitseviä eroja muuten kuin sykkeessä testin ensimmäisen minuutin kohdalla ( $p < 0,05$ ),  $VCO_2$ -pitoisuudessa 19 minuutin kohdalla ( $p < 0,05$ ) ja RER-arvossa 15 ja 19 minuutin kohdalla ( $p < 0,05$ ). Tasavauhtisissa MLSS-kuormituksissa laktaatin nousu oli 44 % tutkittavista 0–1 mmol/l, 28 % 1–2 mmol/l, 16 % yli 2 mmol/l ja 12 % tutkittavista laktaatti laski kuormituksen aikana. Anaerobisen kynnyksen laktaatti oli matalampi kuin tasavauhtisen kuormituksen keskiarvolaktaatti ( $p < 0,001$ ), mutta hapenkulutus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ( $p > 0,05$ ).

**Pohdinta ja johtopäätökset.** Tutkimuksen perusteella syke,  $VO_2$  ja RER olivat toistettavimmat muuttujat anaerobisen kynnyksen nopeudella tehdyissä tasavauhtisissa kuormituksissa. Veren laktaattipitoisuus oli heikoiten toistettava. Laktaatin nousun määrässä oli hajontaa niin tutkittavien välillä kuin tutkittavan kolmen kuormituksen välillä anaerobisella kynnyksellä tehdyissä tasavauhtisissa kuormituksissa. Lisää tutkimusta tarvitaan MLSS:n määrittäyksessä käytetyn 1 mmol/l nousun rajan kuin MLSS-tason ja K-Labin kynnyksen välisen yhteyden osalta.

**Avainsanat:** MLSS, anaerobinen kynnyks, toistettavuus

## ABSTRACT

Kainlauri, V. 2019. Repeatability of heart rate, blood lactate concentration and pulmonary gases at the anaerobic threshold. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 64 pp., 2 appendices.

**Introduction.** For sport coaching, it is important to understand the day-to-day variation in physical performance. Also, when determining aerobic and anaerobic thresholds for programming of endurance training, it is crucial to know the strengths and weaknesses of different threshold determination methods. The meaning of the anaerobic threshold determination by incremental maximal aerobic capacity ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) test is to evaluate the maximal lactate steady state (MLSS). That is the speed/load, when the lactate production and clearance are in equilibrium. The aim of this study was to investigate the day-to-day variation between 30-minute constant velocity running tests at the anaerobic threshold by measuring heart rate, blood lactate concentration, oxygen consumption ( $\text{VO}_2$ ), carbon dioxide production ( $\text{VCO}_2$ ), RER-value (respiratory exchange value) and ventilation (VE). In addition, accuracy of the newly developed K-Lab method in determining of anaerobic threshold was examined.

**Methods.** 11 endurance trained male (mean age 32.8 (SD = 6.5) years, height 177.5 (3.1) cm, body mass 73.6 (5.8) kg and  $\text{VO}_2\text{max}$  52.9 (4.7)  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) and 14 endurance trained female (mean age 28.7 (7.7) years, height 167.8 (4.6) cm, body mass 61.9 (4.3) kg and  $\text{VO}_2\text{max}$  50.1 (6.3)  $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) runners contributed for four tests:  $\text{VO}_2\text{max}$ -test followed by three constant velocity 30-minute running tests (3–5 days apart). The anaerobic threshold was determined by K-Lab program in  $\text{VO}_2\text{max}$ -test, and the constant velocity tests were run at the velocity of the anaerobic threshold on the treadmill. Heart rate,  $\text{VO}_2$ ,  $\text{VCO}_2$  and VE data were recorded continuously in all four tests. In order to quantify the blood lactate concentration, fingertip blood samples were collected after every three-minutes increments in  $\text{VO}_2\text{max}$ -test and after 10<sup>th</sup>, 15<sup>th</sup>, 20<sup>th</sup>, 25<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> minutes in constant velocity running tests. Rate of perceived exertion (RPE) was asked one minute before obtaining blood lactate.

**Results.** Maximal speed in the  $\text{VO}_2\text{max}$ -test was 16.5 (1.5)  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  (male 17.3 (1.5)  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  and female 15.9 (1.2)  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ). Between constant velocity tests, coefficient of variation (CV) of lactate, RPE, VE,  $\text{VCO}_2$ ,  $\text{VO}_2$ , RER and heart rate were 13.9 %, 4.5 %, 4.0 %, 3.3 %, 3.1 %, 2.5 % and 1.5 %, respectively. There were no statistically significant differences between the constant velocity running tests except for heart rate at the first min ( $p < 0.05$ ),  $\text{VCO}_2$  at the 19<sup>th</sup> min ( $p < 0.05$ ) and RER at the 15<sup>th</sup> and 19<sup>th</sup> min ( $p < 0.05$ ) of the tests. The mean increase of blood lactate in constant velocity running tests was between 0–1 mmol/l in 44 %, 1–2 mmol/l in 28 %, more than 2 mmol/l in 16 % of participants and lactate decreased in 12 % of participants.  $\text{VO}_2$  at the anaerobic threshold in the  $\text{VO}_2\text{max}$  test and in the constant velocity running tests did not differ ( $p > 0.05$ ), but the blood lactate was significantly lower at the anaerobic threshold than in the constant velocity tests ( $p < 0.001$ ).

**Discussion and conclusion.** This study demonstrated that heart rate,  $\text{VO}_2$  and RER-value were the most repeatable variables in constant velocity running tests at the predetermined anaerobic threshold. The blood lactate was not as repeatable than heart rate and pulmonary gases. There were between-subject and within-subject variation in the increase of blood lactate in the constant velocity tests. More research is needed about 1 mmol/l limit to determine MLSS and the relationship between MLSS and anaerobic threshold determined by K-Lab program.

**Keywords:** MLSS, anaerobic threshold, repeatability

## KÄYTETYT LYHENTEET

CV	Coefficient of variation: variaatiokerroin, joka lasketaan keskihajonnan ja keskiarvon osamääränä ja ilmoitetaan prosentteina
ICC	Intraclass correlation coefficient: sisäkorrelaatiokerroin
KH	Keskihajonta eli $s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ , jossa $x_i$ on havaintoarvo ja $\bar{x}$ on keskiarvo
K-Lab	Kynnysten määrittämisessä käytetty ohjelma tässä tutkimuksessa
MLSS	Maximal lactate steady state on maksimaalinen laktaatin steady state (tasapaino) -tila eli harjoitusintensiteetti, jossa laktaatin tuotto ja poisto on tasapainossa
RER	Respiratory exchange ratio eli tuotetun hiilidioksidin ja kulutetun hapen suhde
RPE	Rate of perceived exertion kuvaa suorituksen rasittavuutta (tässä tutkimuksessa käytettiin asteikkoa 6–20)
tasa1	Tutkimuksen ensimmäinen tasavauhtinen 30 minuutin kuormitus anaerobisen kynnyksen nopeudella
tasa2	Tutkimuksen toinen tasavauhtinen 30 minuutin kuormitus anaerobisen kynnyksen nopeudella
tasa3	Tutkimuksen kolmas tasavauhtinen 30 minuutin kuormitus anaerobisen kynnyksen nopeudella
$v_{ank}$	Anaerobisen kynnyksen nopeus
$VCO_2$	Hiilidioksidin tuotto
VE	Ventilaatio eli keuhkotuuletus eli hengityksen minuuttitilavuus
$VO_2$	Hapenkulutus
$VO_{2max}$	Maksimaalinen hapenottokyky: hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa
VT2	Toinen ventilaatiokynnys

# SISÄLLYS

## ABSTRACT

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	KESTÄVYYSSUORITUSKYKY JA VEREN LAKTAATTIPITOISUUS .....	2
2.1	Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät .....	2
2.2	Laktaattiaineenvaihdunta .....	4
3	ANAEROBISEN KYNNYKSEN MÄÄRITTÄMINEN.....	6
3.1	Suora VO <sub>2</sub> max-testi juoksumatolla juosten.....	6
3.2	Anaerobisen kynnyksen määrittäminen Suomessa.....	8
3.2.1	K-Lab-ohjelman määrittystapa .....	9
3.2.2	Kuntotestauksen käsikirjan määrittystapa .....	11
3.3	Kansainvälisissä tutkimuksissa käytettyjä anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmiä .....	11
3.3.1	Toisen laktaattikynnyksen määrittystapoja .....	11
3.3.2	Toisen ventilaatiokynnyksen määrittystapoja.....	16
4	MAKSIMAALINEN LAKTAATIN STEADY STATE -TEHO (MLSS) .....	19
4.1	MLSS-intensiteetti .....	19
4.2	MLSS-intensiteetin yhteys anaerobiseen kynnykseen.....	22
5	KESTÄVYYSSUORITUSKYVYN PÄIVÄKOHTAINEN VAIHTELU .....	25
5.1	Mitattavien muuttujien päivakohtainen vaihtelu .....	25
5.2	Kuntotason ja sukupuolen vaikutus suorituskyvyn päivakohtaiseen vaihteluun.....	27
5.3	Suorituskyky – testien luotettavuus ja toistettavuus .....	27
6	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT .....	30
7	MENETELMÄT.....	33
7.1	Tutkittavat.....	33
7.2	Tutkimusasetelma .....	33

7.3	Aineiston keräys ja analysointi .....	34
7.4	Tilastolliset menetelmät .....	38
8	TULOKSET .....	39
8.1	Systemaattiset muutokset.....	39
8.2	Yksilölliset muutokset .....	42
8.3	Anaerobinen kynnys verrattuna MLSS-tasoon.....	45
9	POHDINTA.....	47
10	KÄYTÄNNÖN SOVELLUTUKSET .....	53
	LÄHTEET .....	54
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Kestävyysjuoksijan tavoite on kuluttaa tietyllä matkalla vähemmän aikaa kuin kilpakumppaninsa (Barnes & Kilding 2015). Fyysisten testien avulla pystytään mittaamaan suorituskykyä, mutta niiden avulla pystytään myös suunnittelemaan onnistuneita harjoitusohjelmia (Pallarés ym. 2016). Kestävyysharjoittelu aiheuttaa paljon erilaisia fysiologisia vasteita kehossa (Barnes & Kilding 2015). Kestävyysharjoittelu adaptoi kehoa niin hermo-lihasjärjestelmän, aineenvaihdunnan, sydän- ja verisuonielimistön, hengityselimistön kuin hormonijärjestelmänkin osalta (Jones & Carter 2000).

Maksimaalista hapenottokyvyn testiä ( $VO_2$ max-testi) on pidetty kultaisena standardina kestävyysominaisuuksien mittauksessa (Newell ym. 2006). Riippuen testitavasta, sen avulla voidaan saada tietoa niin maksimaalisesta aerobisesta suorituskyvystä kuin esimerkiksi kynnyalueista. Aerobinen ja anaerobinen kynnykset auttavat harjoittelun optimoinnissa, sillä niiden avulla pystytään suunnittelemaan harjoitukset oikean tehoisiksi. Kynnykset voidaan määrittää yhden nousuvaintensiteettisen kuormituksen avulla, jolloin se on ajallisesti käyttökelpoinen harjoittelun lomassa (McNaughton ym. 2006).

Laktaattiaineenvaihdunnan kinetiikasta on tehty päätelmiä mittaamalla laktaattipitoisuutta verestä ja lihaksesta (Billat ym. 2003). Anaerobisen kynnyksen avulla on tarkoituksena arvioida maksimaalista laktaatin steady state –tilaa (MLSS) (Heck ym. 1985; Smith & Jones 2001). MLSS-työteholla elimistö pystyy poistamaan laktaattia saman verran kuin sitä tuotetaan (Heck ym. 1985). MLSS-työtehon tarkka mittaaminen on kuitenkin aikaa vievää vaatien useita 30 minuutin suorituksia eri päivien aikana (Smith & Jones 2001; Leti ym. 2012). Anaerobisen kynnyksen määrittämismenetelmiä esiintyy kuitenkin kirjallisuudessa useita eri vaihtoehtoja.

Suorituskyvyn päiväkohtainen vaihtelu on tärkeää ymmärtää testauksessa ja tulosten tulkinnaissa (Marschall ym. 2014) kuten päivittäisvalmennuksessakin. Tämän Valmennus- ja testausopin Pro gradu –tutkielman tarkoituksena on tutkia suorituskyvyn päiväkohtaista vaihtelua anaerobisella kynnyksellä tehtyjen tasavauhtisten kuormitusten avulla. Tutkimus on jatkoa Kainlauri (2017) kandidaatintutkielmalle. Tutkimus tehtiin yhteistyössä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU) kanssa ja tämän Pro Gradun lisäksi projektista valmistui kaksi kandidaatintutkielmaa.

## 2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY JA VEREN LAKTAATTIPITOISUUS

Säännöllinen ja oikeanlainen harjoittelu on perusta hyvälle kestävyysuorituskyvyille (Peltonen & Nummela 2018). Oikeanlaisen harjoittelun lisäksi suorituskyvyn testaaminen kuuluu monen kestävyysurheilijan vuosisuunnitelmaan. Tärkeimmät mitattavat fyysiset kestävyysuorituskyvyn vaikuttavat ominaisuudet ovat maksimaalinen hapenottokyky, kynnsarvot, suorituksen taloudellisuus (Pate & Branch 1992; Bassett & Howley 2000; Peltonen & Nummela 2018) sekä hermo-lihasjärjestelmän voimantuottokyky (Rønnestad & Mujika 2014; Peltonen & Nummela 2018).

### 2.1 Kestävyysuorituskyvyn vaikuttavat tekijät

Maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_2\max$ ) kuvastaa tasoa, jolloin hapenkulutus ei enää nouse, vaikka suoritusintensiiteettiä lisätään (Kenney ym. 2012, 122; McArdle ym. 2015, 165). Sitä on pidetty ”kultaisena standardina” kestävyyskunnan mittaamisessa (Newell ym. 2006), sillä se kuvastaa elimistön hapenkuljetuskykyä ja hapen käyttökykyä (Bassett & Howley 2000). Aerobista kestävyyttä onkin kuvattu maksimiaikana, jonka urheilija pystyy suorittamaan lähellä  $VO_2\max$ :ä (Laplaud & Menier 2003). Harjoittelun tavoitteena on nostaa kilpailusuorituskykyä suhteellisesti lähemmäs  $VO_2\max$ :ä. On syytä tiedostaa, että perintötekijät vaikuttavat merkittävästi absoluuttiseen maksimiarvoon. (Kenney ym. 2012, 122 ja 268.) Pääasiallisia rajoittavia tekijöitä ovat keuhkojen diffuusiokapasiteetti, sydämen maksimaalinen minuuttitilavuus, veren hapenkuljetuskapasiteetti ja luurankolihasien ominaisuudet (Bassett & Howley 2000). Mittayksikkönä käytetään tavallisesti litraa minuutissa (l/min) tai millilitraa per kilogramma per minuutti (ml/kg/min). Lajeissa, joissa kannatellaan omaa kehon painoa, käytetään usein ml/kg/min. (Nummela & Peltonen 2018; Kenney ym. 2012, 122.)

Kynnykset ja niiden määrittäminen ovat olennainen osa kestävyysvalmennusta – ja -testausta. Aerobinen kynnykset kuvastaa suoritustehoa, jossa laktaatti nousee ensimmäisen kerran perustasosta (Nummela 2010a). Nousun määrästä on erilaisia kriteereitä (Faude ym. 2009), mutta esimerkiksi K-Lab-ohjelmassa käytetään 0,3 mmol/l nousua. Anaerobisella kynnyksellä tarkoitetaan elimistön tilaa, jossa laktaattia tuotetaan ja poistetaan yhtä paljon (Faude ym. 2009). Erilaisia anaerobisen kynnyksen määrittäytapoja on esitetty luvussa 3. Anaerobisen kynnyksen jälkeen keho alkaa happamoitua ja laktaattipitoisuus nousta. Yhtäaikaaisesti myös bikarbonaatti-



ionien pitoisuus alkaa laskea niiden puskuroidessa kehon happamuutta ja näin ollen hiilidioksidin tuotto lisääntyy. (Wasserman ym. 1967.)

Työskenneltäessä tietyllä submaksimaalisella työteholla, juoksun taloudellisuutta voidaan arvioida mitatun hapenkulutuksen avulla (Pate & Branch 1992; Bassett & Howley 2000; Turner ym. 2003; Nummela ym. 2007; Joyner & Coyle 2008). Mitä taloudellisempi urheilija on, sitä vähemmän happea hän kuluttaa submaksimaalisella nopeudella (Pate & Branch 1992; Nummela ym. 2007). Taloudellisuutta mitataan yleisimmin juoksumatolla juosten, vaikkakin se juoksutekniikan osalta eroaa maajuoksusta. Kuitenkin on todettu, että juoksumatolla mitattu taloudellisuus korreloi vahvasti maajuoksun kanssa. (Saunders ym. 2004.) Saunders ym. (2004) mukaan viisi tärkeintä taloudellisuuteen vaikuttavaa tekijää ovat harjoittelu, ympäristö, fysiologia, biomekaniikka ja antropometria. Useiden vuosien säännöllinen kestävyysharjoittelu voi parantaa taloudellisuutta (Morgan ym. 1995; Midgley ym. 2007; Joyner & Coyle 2008) solujen mitokondrioiden toimintaa tehostamalla, jolloin soluhengityskapasiteetti parantuu (Saunders ym. 2004). Toisaalta myös voimaharjoittelun lisääminen kestävyysjuoksijan ohjelmaan voi parantaa taloudellisuutta (Paavolainen ym. 1999; Turner ym. 2003; Barnes & Kilding 2015). Harjoittelu on kuitenkin vain yksi osa taloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä ja esimerkiksi biomekaaniset tekijät, kuten askelpituus ja -kontakti vaikuttavat juoksijan taloudellisuuteen. Urheilija useimmiten juoksee hänelle taloudellisimmalla askelpituudella tai ainakin lähellä sitä. (Moore 2016.) Askelkontakti on ainoa vaihe juoksun aikana, jolloin voidaan tuottaa voimaa. Lyhyemmän kontaktivaiheen on todettu parantavan taloudellisuutta. (Nummela ym. 2007.) On sanottu, että pienikin parannus taloudellisuudessa on yhteydessä kestävyysuorituskyvyn kanssa (Rønnestad & Mujika 2014).

Voimaharjoittelu on kasvattanut suosiotaan kestävyysurheilijoiden keskuudessa. Tämän voisi olettaa johtuvan siitä, että juoksuvauhdit kilpailuissa ovat kasvaneet viime vuosikymmenien aikana vaatien hermo-lihasjärjestelmältä yhä parempaa voimantuottoa (Mikkola ym. 2011). Kestävyysharjoittelun lisäksi tehdyn niin maksimivoimaharjoittelun (Aagaard & Andersen 2010; Taipale ym. 2010), nopeusvoimaharjoittelun (Paavolainen ym. 1999; Turner ym. 2003; Taipale ym. 2010) kuin niiden yhdistelmäharjoittelun (Taipale ym. 2014) on todettu olevan hyviä voimaharjoittelumuotoja suorituskyvyn noston ja/tai taloudellisuuden parantamisen kannalta. Näin ollen hermo-lihasjärjestelmän toiminnan kehittyminen ja voimatasojen nosto ovat

jopa tärkeämmässä roolissa maksiminopeuden ( $v\text{VO}_2\text{max}$ ) ja taloudellisuuden kehittämisen kannalta kuin  $\text{VO}_2\text{max}$ :n parantaminen (Taipale ym. 2010).

Harjoitustausta voi vaikuttaa havaittuihin tuloksiin. Kuntoilijat voivat reagoida voimaharjoitteluun eri tavoin kuin eliittijuoksijat, koska kestävyysharjoittelun määrä on erilainen. (Mikkola ym. 2011.) Tutkimuksissa on kuitenkin ollut sekä korkean tason kestävyysjuoksijoita (Paavolainen ym. 1999; Blagrove ym. 2018) kuin myös kuntoilijatason juoksijoita (Turner ym. 2003; Taipale ym. 2010; Taipale ym. 2014). Uskotaan, että parannus kestävyysuorituskyvyssä johtuu hermo-lihasjärjestelmän ominaisuuksien kehittymisestä ja sen vaikutuksesta parantuneesta taloudellisuudesta (Paavolainen ym. 1999). Kuitenkin lisää tutkimusta tarvitaan kaikkein tehokaimman voimaharjoittelumuodon selvittämiseksi (Barnes & Kilding 2015). Kehityksen takaamiseksi riittävä määrä on 2–3 kertaa viikossa kohdentuen varsinaisessa kestävyysuorituksessa käytettyihin lihaksiin (Rønnestad & Mujika 2014).

## 2.2 Laktaattiaineenvaihdunta

Kehon tavoitteena on, että energiaa (adenosiinitrifosfaatti: ATP) on koko ajan riittävästi saatavilla lihasten supistumiseen (McArdle ym. 2015, 135). Kuormitus kasvattaa energiantarvetta lepotilan nähden, mutta ATP-taso lihaksessa pysyy suhteellisen muuttumattomana (Sahlin ym. 1998). ATP:a tuotetaan pääosin kolmen energiantuottosysteemin kautta (Gastin 2001):

1. alaktinen: kreatiinifosfaatti (KP) –varastot
2. laktinen: anaerobinen glykolyysi
3. aerobinen: soluhengitys — hiilihydraateista ja rasvoista hapen läsnä ollessa

Näistä kaksi ensimmäistä ovat osa anaerobista energiantuottosysteemiä eli energiaa pystytään tuottamaan ilman happea. Kolmas on nimensä mukaisesti aerobista energiantuottoa eli happea tarvitaan prosessin toimintaa varten. (Gastin 2001.) ATP:n tuottonopeus on suurinta anaerobisesti, mutta aerobisesti energiaa pystytään tuottamaan enemmän ja pidempään (Sahlin ym. 1998; Gastin 2001). Näin ollen sekä aerobista että anaerobista energiantuottosysteemiä tarvitaan energiantuotossa (Gastin 2001).

Kynnysmäärittämissä käytettävä verestä mitattu laktaattipitoisuus on lopputulos laktaatin tuoton ja poiston suhteesta (Heck ym. 1985; Moxnes & Sandbakk 2012). Laktaattia muodostuu anaerobisessa glykolyysissä (sekä veren punasoluissa) myös levossa ja kevyessä liikunnassa (McArdle ym. 2015, 146). Kovemmassa kuormituksessa glykolyyttinen energiantuotto on dominoivassa roolissa (McArdle ym. 2015, 162). Näin ollen laktaattipitoisuus kehossa alkaa nousta (ja pH laskea), koska laktaatin poistokyky on ylitetty (Billat ym. 2003). Tällöin nikotiiniamidiadeniinidinukleotidia (NADH) (NAD<sup>+</sup>:n pelkistynyt muoto, toimivat koentsyymeina hapetus-pelkistysreaktioissa) tuotetaan enemmän kuin sen vetyioneja pystytään kuljettamaan elektroninsiirtoketjuun. Tämän solulimaan syntyneen NAD<sup>+</sup>/NADH –epätasapainon takia pyruvaatti vastaanottaa vetyionit ja muodostuu maitohappoa (eng. lactic acid) asetyylikoentsyymi-A:n sijaan. (McArdle ym. 2015, 147 & 162.) Maitohappo hajoaa elimistössä heti laktaattiksi (eng. lactate) ja vetyioneiksi (H<sup>+</sup>) (Stallknecht ym. 1998) ja onkin pääosin elimistössä näihin kahteen hajonneena (Ferguson ym. 2018).

Maitohapon voidaan sanoa olevan jopa myyttisessä asemassa urheiluväen keskuudessa. (Stallknecht ym. 1998; Gladden 2004.) Maitohappoa ja laktaattia on tutkittu jo 1700-luvun loppupuolelta asti ja usein vanhat uskomukset näkyvät edelleen kirjallisuudessa ja urheiluväen puheissa. Monesti uskotaan, että happipitoisuuden vähentyessä laktaattipitoisuus nousee tai laktaatin uskotaan aiheuttavan lihasten väsymisen. Nykyään on kuitenkin tunnettua, että laktaattipitoisuuden nousu johtuu useimmiten jostain muusta kuin hapen puutteesta ja laktaattia voidaan hyödyntää energiantuotossa. (Ferguson ym. 2018.) Glykolyysin kiihtyminen, laktaatin tuoton kasvu nopeammin kuin poisto ja nopeiden lihassolujen rekrytointi voivat aiheuttaa laktaattipitoisuuden nousua (Gladden 2004).

Laktaatin voidaan sanoa olevan hyödyllinen välituote hiilihydraattien hapetusprosessissa (Stallknecht ym. 1998; Gladden 2004; Ferguson ym. 2018). Laktaattia voidaan poistaa esimerkiksi sydämessä, maksassa tai luurankolihasissa itsessään (Stallknecht ym. 1998; Billat ym. 2003). Sydän pystyy käyttämään laktaattia suoraan energiana, kun taas maksassa pystytään muodostamaan uudestaan glukoosia ja glykogeenia (Corin sykli) kehon käyttöön (Nummela 2007). Lihassoluista nopeat (IIa- ja IIb-tyypin solut) lihassolut ovat päävastuussa laktaatin tuotosta, kun taas hitaissa (I-tyyppi) soluissa laktaattia pystytään paremmin käyttämään myös pyruvaatin uudelleen muodostuksessa (Billat ym. 2003; Nummela 2007).

### 3 ANAEROBISEN KYNNYKSEN MÄÄRITTÄMINEN

Testaus on tavoitteellisille kestävyysurheilijoille säännöllinen osa harjoituskalenteria. Aerobinen ja anaerobinen kynnyksen määrittämiseen tavallisesti nousevaintensiteettisen maksimaalisen hapenottokyvyn testin avulla, josta saadaan selville myös maksimaalinen aerobinen suorituskyky (Faude ym. 2009; Nummela 2010a; Cerezuela-Espejo ym. 2018). Testin aikana mitataan laktaattia ja/tai hengitysmuuttujia ja intensiteetti nousee portaittain. Anaerobinen kynnyksen (laktaattikynnyksen 2) on yksi tärkeimmistä testistä saatavista tuloksista (Fabre ym. 2010). Sen määrittämiseen on kuitenkin olemassa useita erilaisia menetelmiä, jotka voivat aiheuttaa sekaannusta ja väärinymmärryksiä (Bosquet ym. 2002; Faude ym. 2009; Nummela & Peltonen 2018). Suomessa on pyritty yhteiseen linjaan ja pääosin käytetään K-Lab-määrittämenetelmää.

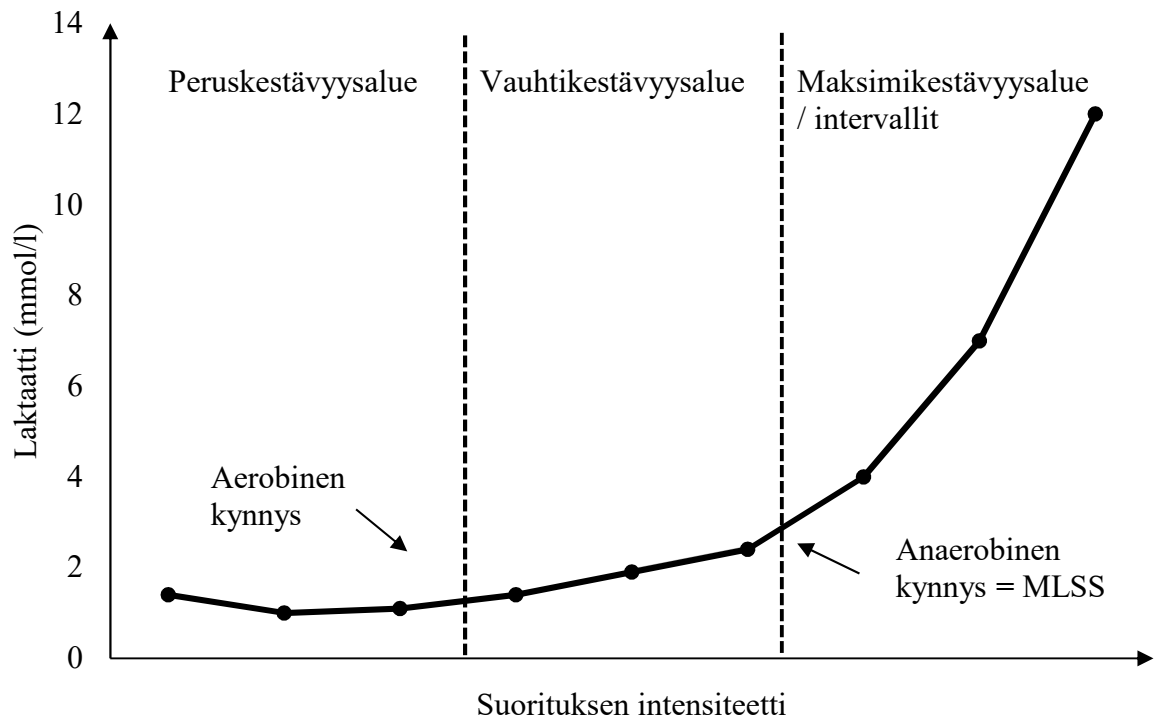
#### 3.1 Suora VO<sub>2</sub>max-testi juoksumatolla juosten

Suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi (VO<sub>2</sub>max-testi) voidaan tehdä pitkänä tai lyhyenä mallina. Lyhyttä mallia käytetään useimmiten silloin, kun halutaan selvittää ainoastaan maksimaalinen hapenottokyky ja aerobinen teho. Tällöin portaiden kesto on 30–60 sekuntia. Kynnyksen määrittämiseksi testiä suositellaan tehtäväksi pidemmällä kuormitusportailta ja Suomessa suosituksena on käyttää kolmen minuutin kuormitusportaita. Tällöin submaksimaalisilla kuormilla hapenkulutus ehtii tasaantua kuormituksen vaatimalle tasolle. (Nummela & Peltonen 2018.) Gavin ym. (2014) tutki kahdeksan ja neljän minuutin kuormien vaikutuksia juoksumatolla ja totesivat kahdeksan minuutin kuormilla tulosten olevan toistettavampia ja myös Kuipers ym. (2003) suosittelivat yli kuuden minuutin kuormien käyttöä. Toisaalta, Cerezuela-Espejo ym. (2018) ovat sanoneet minuutin kuormien olevan riittävät aerobisesta anaerobiseen tapahtuvan muutoksen havaitsemisessa ja kynnyksen määrittämisessä. Aloituskorma on tärkeää valita alle aerobisen kynnyksen nopeuksille, jotta testattava pystyisi suorittamaan riittävästi kuormitusportaita (8–12) luotettavan kynnyksmäärittämisen mahdollistamiseksi (Nummela & Peltonen 2018). Testattava suorittaa niin pitkään kuin pystyy, testin tavoitekeston ollessa 24–36 minuuttia (Nummela 2010b). Kuormitustapa valitaan harrastettavan lajin perusteella mahdollisimman lajinomaiseksi. Sekä kuormitustapa että -malli vaikuttavat VO<sub>2</sub>max:n ja maksimaalisen aerobisen tehon absoluuttiseen suuruuteen. (Nummela & Peltonen 2018.)

Juoksulajeissa kuormitus tehdään juosten useimmiten juoksumatolla. Tyypillisesti juoksutes-  
tissä juoksumaton kulma pysyy koko testin ajan vakiona ja nopeus nousee kuorma kuormalta  
yhden kilometrin tunnissa (Nummela & Peltonen 2018). Kulmana käytetään 1,0 prosenttia  
(Heck ym. 1985; Peserico ym. 2015; Nummela & Peltonen 2018), sillä sen on todettu kompen-  
soivan puuttuvaa ilmanvastusta (Jones & Doust 1996). Eri puolilla maailmaa voidaan käyttää  
erilaisia nostoja kuormien välillä (Faude ym. 2009; Peserico ym. 2015). Myös kuormien kes-  
toissa ja aloitustehoissa voi olla vaihtelua (Faude ym. 2009). Juoksumatolla tehtävän kuormi-  
tuksen lisäksi VO<sub>2</sub>max-testi voidaan suorittaa juosten myös radalla kannettavan hengityskaa-  
suanalysaattorin kanssa.

Pitkää mallia käytettäessä jokaisen kuorman jälkeen otetaan verinäyte, josta analysoidaan lak-  
taatti. Laktaatinäyte on tarkoitus saada otettua 20 sekuntia kuorman päättymisen jälkeen, sillä  
näytteenottoaika sisältyy seuraavaan kuormaan. (Nummela 2010b.) Elimistön laktaattipitoisuu-  
den on todettu nousevan eksponentiaalisesti maksimaalisessa hapenottokyvyn testissä (kuvio  
1) (Faude ym. 2009) ja laktaattipitoisuus riippuu laktaatin tuoton ja poiston suhteesta (Heck  
ym. 1985). Laktaattipitoisuuksista ja suoritustehosta/-nopeudesta voidaan muodostaa käyrä,  
jonka avulla saadaan tietoa kestävyysuorituskyvystä. Käyrästä voidaan määrittää kaksi tyypil-  
listä muutoskohtaa, joita kutsutaan aerobiseksi ja anaerobiseksi kynnykseksi. (Faude ym.  
2009.) Samat kynnykset voidaan määrittää myös hengityskaasujen avulla, mutta ne saattavat  
asettua hieman eri kohtiin kuin laktaatista määritetyt kynnykset (Nummela 2010b). Vaikka kyn-  
nyksiä kutsutaan aerobiseksi ja anaerobiseksi kynnykseksi, ei voida sanoa energiantuottotavan  
muuttuvan yhdessä pisteessä vaan aerobinen ja anaerobinen energiantuottotapa toimii yhdessä  
samanaikaisesti (Faude ym. 2009). Kuitenkin tällöin muutosta tapahtuu enemmän aerobiselta  
energiantuottotavalta glykolyyttiseen systeemiin (Billat 1996).

Käyrän siirtyminen oikealle ja myös alemmas on tavallisesti merkki paremmasta kestävyysuo-  
rituskyvystä (Bosquet ym. 2002; Laplaud & Menier 2003). Tällöin kynnykset siirtyvät suhteel-  
lisesti lähemmäs maksimia ja laktaatin nousu tapahtuu suuremmilla nopeuksilla kuin aikaisem-  
min mahdollistaen tietyn nopeuden ylläpidon pidempään kuin aiemmin (Jones & Carter 2000).  
Testin tulosten tulkinta vaatii testaajalta osaamista ja testattavan taustan kartoittamista (Num-  
mela 2010b). Myös erilaiset kuormitusportaiden kestot voivat vaikuttaa tuloksiin (Gavin ym.  
2014).



KUVIO 1. Maksimaalisesta VO<sub>2</sub>max-testistä saatu esimerkkilaktaattikäyrä. Kuvioon on merkitty myös kynnyskohdat. (mukailtu Faude ym. 2009.)

Suoran VO<sub>2</sub>max-testin aikana mitataan myös hengitysmuuttujia niin kynnysmäärittämissä varten kuin maksimaalisten arvojen selvittämisen vuoksi. Mittaaminen tapahtuu esimerkiksi jokaisesta hengityssyklistä Breath-by-Breath -menetelmää käyttäen. Kyseiset laitteet mittaavat suun edessä olevalla virtausmittarilla ilman virtausta sisään ja ulos sekä imevät suun edessä olevaa ilmaa kaasukapillaarin avulla analysaattorille tarkasteltavaksi. Tärkeimmät mitattavat kaasut ovat happi ja hiilidioksidi, joiden avulla voidaan määrittää kynnyksarvot sekä maksimaalinen hapenotto kyky. Näiden lisäksi testin aikana saadaan tietoa monista muista muuttujista kuten esimerkiksi ventilaatiosta ja hengitysfrekvenssistä. (Nummela & Peltonen 2018.)

### 3.2 Anaerobisen kynnyksen määrittäminen Suomessa

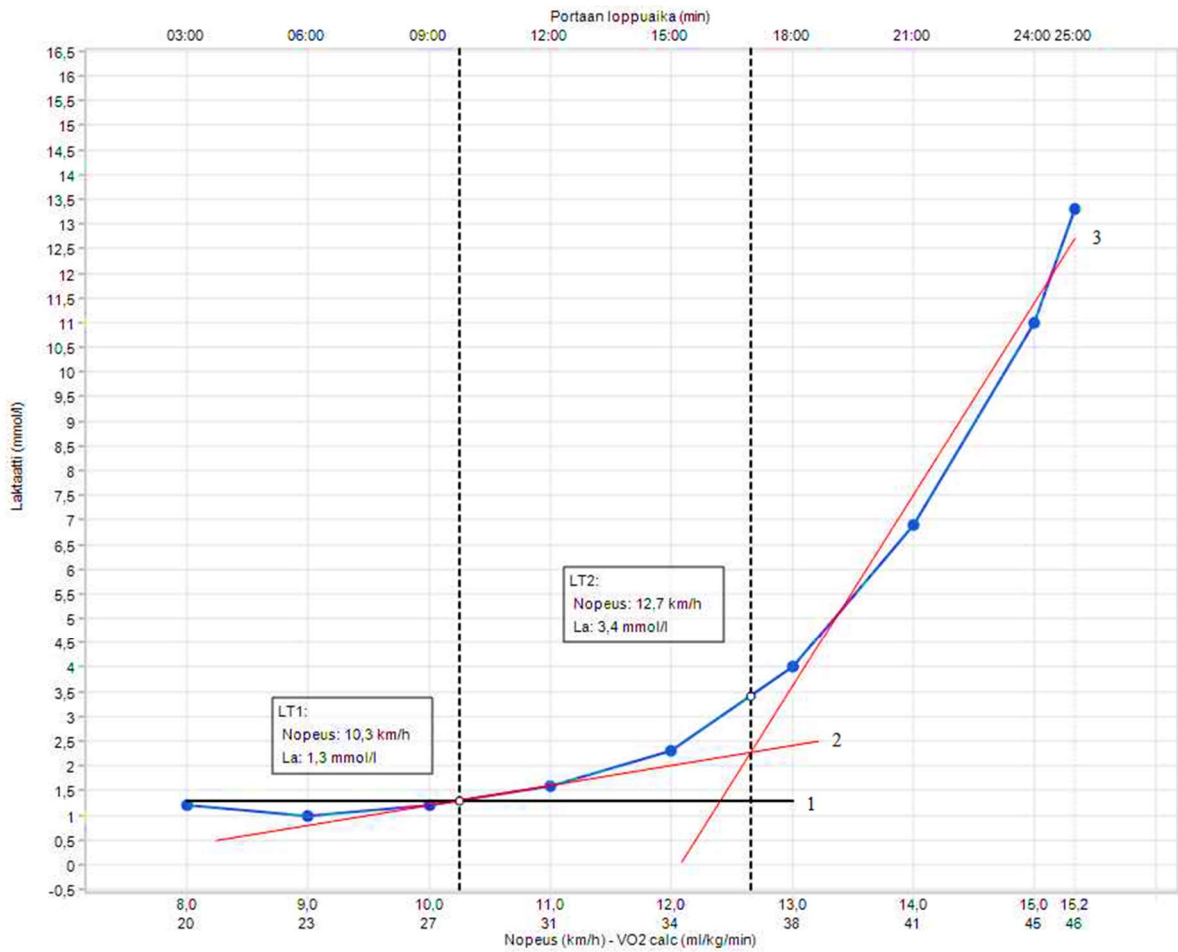
Kynnysten määrittämisessä käytetään aiemmin tässä kappaleessa (3.1) esiteltyjä nousevatehoisia maksimitestejä (McNaughton ym. 2006). Suomessa useimmat kuntotestausasemat käyttävät K-Lab-ohjelmaa perustana kynnysmäärittämiselle. Myös tässä tutkimuksessa kynnysmäärittäminen perustui K-Lab-ohjelman menetelmään.

### 3.2.1 K-Lab-ohjelman määrittystapa

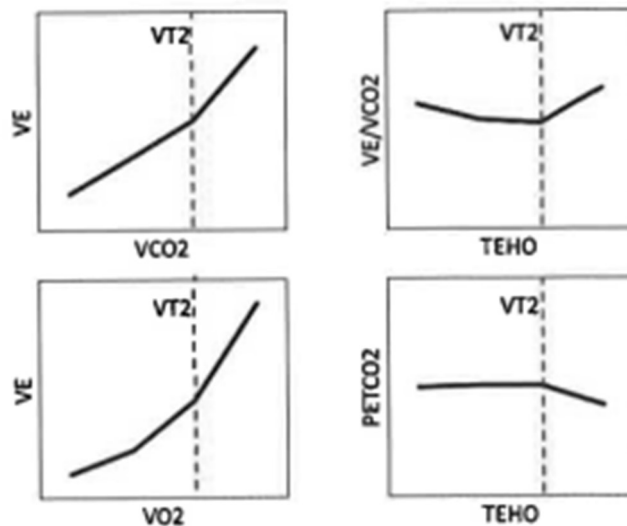
K-Lab-ohjelma on kehitetty kuntotestaamisen tueksi Aino Health Oy:n ja Kuortaneen urheilupuiston toimesta. K-Lab-määrittymenetelmät esitetään myös uudessa Fyysisen kunnan mittaaminen -käsikirjassa ja ne ovat kynnysmäärittymenetelmien perustana suomalaisessa kestävyystestauksessa. Ohjelma määrittää kynnysalueet laktaatista ja hengitysmuuttujista erikseen. Automatiikan rooli on hieman kasvanut ja testaajan rooli hieman pienentynyt määrittämisessä. Suoran testin kynnysmäärittämisohjelma on kehitetty Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksessa (KIHU) (Nummela & Hynynen 2017).

Laktaattikynnysten määrittäminen tapahtuu laktaattikäyrästä automaattisesti (tietokoneohjautusti) sovittujen periaatteiden mukaisesti (Nummela & Hynynen 2017). K-Labin kynnysmäärittämis menetelmä laktaatista perustuu kolmeen lineaarisovitteeseen (kuvio 2). Testin alimmasta laktaatista 0,3 mmol/l korkeammalle piirretään vaakasuora sovitte 1, jonka leikkauskohta laktaattikäyrän kanssa kuvastaa aerobista kynnystä (laktaattikynnys 1). Sovitte 2 piirretään laktaattikynnys 1 ja sitä seuraavan kuorman laktaattiarvon välille ja sovitte 3 kuormien välille, jossa laktaattipitoisuus nousee yli 0,8 mmol/l. Sovitteiden 2 ja 3 leikkauskohta kuvastaa anaerobista kynnystä (laktaattikynnys 2). (Nummela 2015; Vesterinen ym. 2016; Nummela & Peltonen 2018.)

Molemmat kynnykset voidaan määrittää myös hengitysmuuttujista. K-Lab-ohjelmassa ei ole automaattista järjestelmää ventilaatiokynnysten määrittämiseen vaan testaaja arvioi hengityskausipilvestä (hengitys hengitykseltä kuvaajista) kriteereinä olevat muutoskohdat. Ensimmäisen ventilaatiokynnyksen jälkeen hiilidioksidin tuotto ja ventilaatio kiihtyvät suhteessa hapenkulutukseen. Näin ollen hengityksellä pyritään tasapainottamaan happamuuden kasvua. Ventilaatiokynnys 2 (VT2) määritetään kohtaan, jossa ventilaatio kiihtyy suhteessa hiilidioksidin tuottoon (kuva 1). Muita määrittämissä kriteerejä ovat ventilaation toinen nousukohta suhteessa hapenkulutukseen, hiilidioksidiekvivalentin ( $VE/VCO_2$ ) nousukohta suhteessa intensiteettiin ja hiilidioksidiosapaineen ( $PETCO_2$ ) laskukohta suhteessa intensiteettiin. (Nummela 2015; Nummela & Peltonen 2018.) Ventilaatiokynnys 2 kuvastaa korkeinta aineenvaihdunnan tilaa, jolloin keho pystyy ylläpitämään kohonnutta, mutta vakaata asidoositilaa (Pallarés ym. 2016).



KUVIO 2. K-Lab-ohjelman kynnysten määrittäminen laktaateista. Kuvioon on merkitty sovitteet 1-3 ja pystysuorat katkoviivat laktaattikynnyksien 1 ja 2 merkiksi.



KUVA 1. Toisen ventilaatiokynnyksen määrittäminen keskiarvoistetuista kuvaajista (Nummela & Peltonen 2018).



### **3.2.2 Kuntotestauksen käsikirjan määrittystapa**

Suomessa kynnykset määritettiin pitkään Kuntotestauksen käsikirjan mukaisesti. Määrittelyohjeet eroavat edellä mainituista K-Labiin perustuvista ohjeista siten, että aerobinen ja anaerobinen kynnykset määritettiin laktaattista ja hengitysmuuttujista yhdessä (Nummela 2010b). Ne eivät kuitenkaan usein ole samassa kohdassa, joten määrittäminen on hankalampaa (Nummela & Peltonen 2018). Niiden ollessa eri kohdissa painotus on ohjeiden mukaisesti laktaattikäyrän tulkinnassa (Nummela 2010b).

Anaerobinen kynnykset määritettiin kohtaan, jossa laktaattipitoisuudessa tapahtuu selkeä jyrkkeneminen. Myös hengityskaasumuuttujat olivat tarkastelussa anaerobisen kynnyksen määrittämisessä. Ventilaation lineaarisuudesta poikkeava nousu suhteessa hiilidioksidin tuottoon tai jyrkät muutoskohdat ventilaation ja hapenkulutuksen suhteessa ja/tai ventilaation ja hiilidioksidin tuoton suhteessa ovat selkeitä määrittelykohtia anaerobiseksi kynnykseksi. (Nummela 2010b.)

### **3.3 Kansainvälisissä tutkimuksissa käytettyjä anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmiä**

Kirjallisuudessa on käytetty anaerobisen kynnyksen määrittämisessä monia eri tapoja niin laktaattista kuin hengitysmuuttujistakin. Näiden erilaisten määrittämenetelmien validiteetti vaihtelee. (Fabre ym. 2010.) Pääasiallisesti käytössä on laktaatti- ja/tai hengitysmuuttujien käyrän muotoon perustuvia määrittämenetelmiä ja kiinteitä kynnyslaktaattiarvoja. Kirjallisuutta luettaessa on tärkeää huomioida nämä erilaiset määrittämenetelmät väärien tulokantojen välttämiseksi. Seuraavaksi on esitelty yleisimpiä anaerobisen kynnyksen määrittämenetelmiä niin laktaattista (toinen laktaattikynnykset) kuin hengitysmuuttujistakin (toinen ventilaatiokynnykset).

#### **3.3.1 Toisen laktaattikynnyksen määrittämenetelmät**

*Kiinteät kynnyksarvot.* Kiinteällä kynnyksarvolla tarkoitetaan tiettyä ennalta määritettyä laktaattiarvoa, joka saavutetaan maksimaalisessa hapenotto- ja hapenkulutuksen testissä ja tämän laktaattiarvon aikainen nopeus määritetään kynnyksnopeudeksi. Käytössä on ollut esimerkiksi arvo 4 mmol/l (Laplaud & Menier 2003; Forsyth & Reilly 2005; Fabre ym. 2010). Sen käyttö on lähtenyt

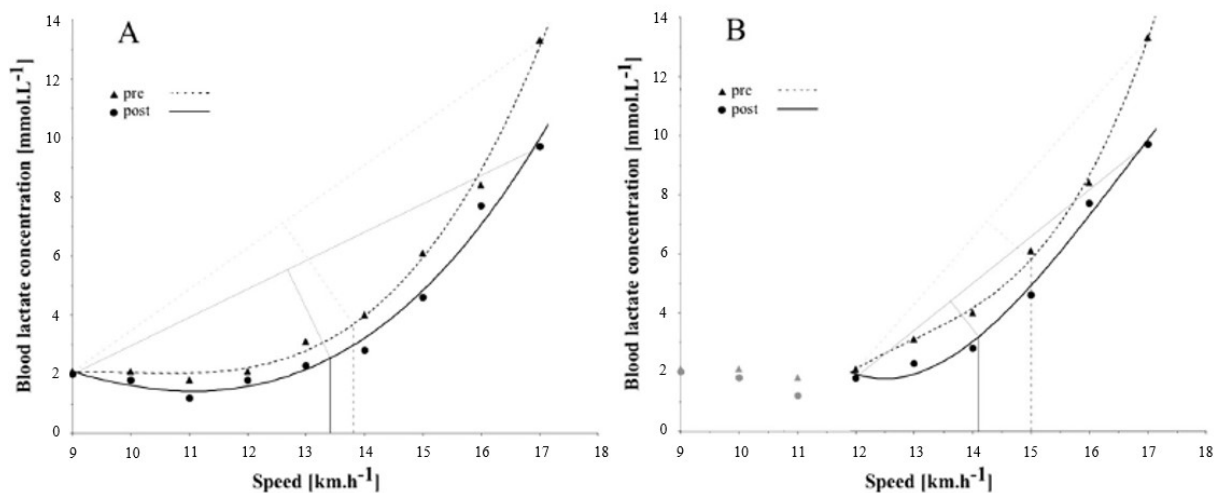
huomiosta, jonka mukaan kestävyysurheilijat ovat pystyneet työskentelemään pitkiä aikoja alle 4 mmol/l laktaattiarvoilla, kun taas sen ylitettyään laktaattipitoisuus on alkanut nousta jatkuvasti (Heck ym. 1985). Kiinteän laktaattiarvon käyttö kynnysmäärityksessä on saanut kritiikkiä sen yksilöllisyyden puutteen vuoksi (Heck ym. 1985; Laplaud & Menier 2003). Kiinteä arvo ei ota huomioon yksilöiden välistä vaihtelua elimistön normaalissa laktaattipitoisuudessa (Stegmann ym. 1981; Tegtbur ym. 1993; Laplaud & Menier 2003) eikä lajin vaikutusta laktaattipitoisuuksiin (Beneke & von Duvillard 1996). Toisaalta kiinteän kynnyksarvon 3,5 mmol/l tehossa on todettu olevan vain vähän variaatiota yksilöllä kahden maksimipyörätestin välillä (Hoefelmann ym. 2014).

*Toinen käännekohta.* Laktaatin toisella käännekohdalla (second turn point) tarkoitetaan anaerobisen kynnyksen määritystapaa, jossa kynnyks määritetään laktaattikäyrän selkeään nousukohtaan (Davis ym. 1983; Smith & Jones 2001; Morton ym. 2012). Se on laktaattikynnyksen (aerobinen kynnyks) ja maksimaalisen hapenottokyvyn välissä ja siksi sitä voidaankin kutsua myös toiseksi laktaattikynnykseksi (Smith & Jones 2001). Määritystapa on suhteellisen samanlainen kuin Kuntotestauksen käsikirjassa esitetty anaerobinen kynnyks laktaatista määritettynä. Tämän kynnyksen vauhdin on todettu olevan yksi parhaista laboratorioissa mitattavista kestävyysuorituskyvyn määrittäjistä (matkat 10–42 km) yhdessä huippunopeuden kanssa (Noakes ym. 1990). Kuitenkin Morton ym. (2012) tutkimuksessa toisen käännekohdan toistettavuus oli heikko suorassa pyörällä tehdyssä VO<sub>2</sub>max-testissä.

*Kohtisuora etäisyys käyrästä (D<sub>max</sub>).* D<sub>max</sub>-menetelmällä tarkoitetaan Cheng ym. (1992) kehittämää määritystapaa, joka perustuu käyrän muotoon (Chalmers ym. 2015). Määritys tehdään suoran testin laktaattikäyrän ensimmäisen ja viimeisen pisteen välille piirretyn suoran avulla. Kaukaisin kohtisuora etäisyys suoran ja laktaattikäyrän välillä kuvastaa anaerobista kynnystä. (Cheng ym. 1992; Bishop ym. 1998; Fabre ym. 2010; Fabre ym. 2013.) D<sub>max</sub>-menetelmän on sanottu olevan objektiivinen (Cheng ym. 1992; Janeba ym. 2010; Fabre ym. 2013) ja toistettava (Morton ym. 2012; Heuberger ym. 2018) määritysmenetelmä ja se korreloi kestävyysuorituskyvyn kanssa (Bishop ym. 1998; Heuberger ym. 2018). Sen on kuitenkin sanottu olevan liian sidoksissa ensimmäisen ja viimeisen kuorman laktaattiarvoihin (Newell ym. 2006; Janeba ym. 2010), sillä varsinkin ensimmäinen kuorma on hyvin sattumanvarainen riippuen aloitustasosta ja viimeiseen kuormaan vaikuttaa esimerkiksi maksimaalinen yritys testissä (Janeba ym. 2010).

Kuvio 3 havainnollistaa määrittystavan heikkouden. Yksilön kahden eri testikerran välillä laktaattikäyrä on siirtynyt oikealle ja alemmas jokaisella nopeudella, mikä tavallisesti tarkoittaa parantunutta kestävyyskykyä (Bosquet ym. 2002; Chalmers ym. 2015). Maksimilaktaatin jäädessä toisessa testissä matalammaksi kuin ensimmäisessä vaikuttaa se anaerobisen kynnyksen nopeuteen laskien sitä (Chalmers ym. 2015). Näin ollen  $D_{max}$ -menetelmän toistettavuus on nähty olevan suhteellisen heikko (Gavin ym. 2014; Pallarés ym. 2016) ja sen käyttöä suositellaan vältettävän (Pallarés ym. 2016).

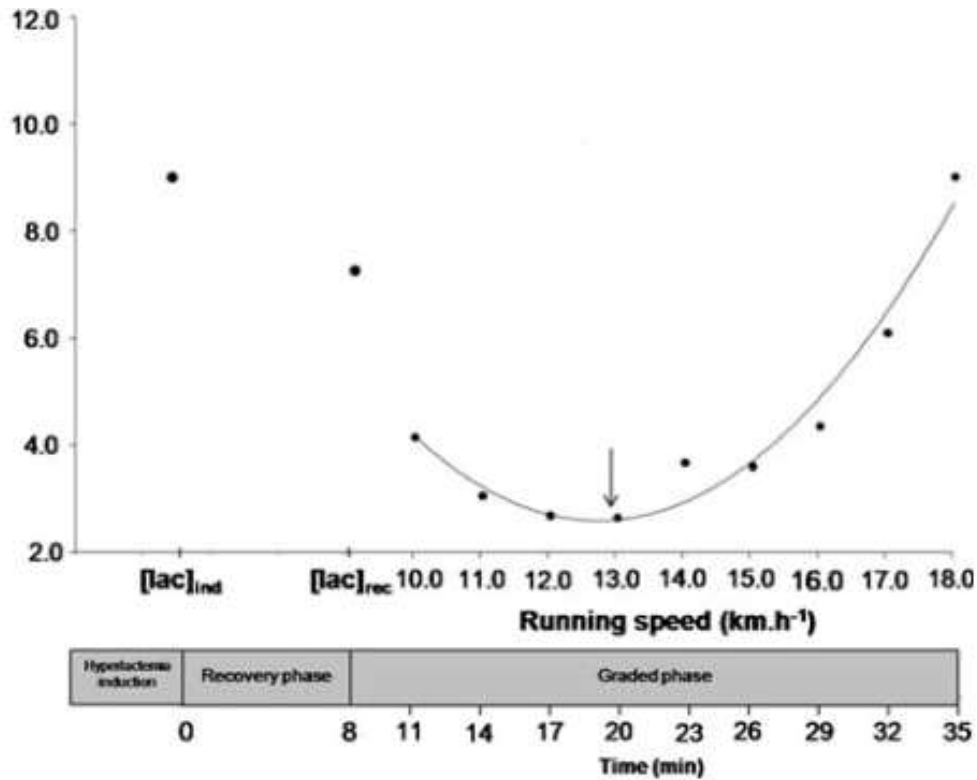
*Modifioitu kohtisuora etäisyys käyrästä ( $D_{mod}$ ).*  $D_{mod}$ -menetelmä on mukailtu  $D_{max}$ -menetelmästä ja perustuu myöskin laktaattipisteiden välille piirrettyyn suoraan. Suora piirretään testin viimeisen laktaatin ja aerobisen kynnyksen (laktaattikynnyks 1 = kohta, jossa laktaatti nousee perustasosta) välille (kuvio 3). Näin ollen testin aloituskuorman vaikutus pyritään poistamaan. (Bishop ym. 1998.) Fabre ym. (2010) ovat tutkineet  $D_{mod}$ -menetelmää hiihtäjillä ja totesivat sen olevan luotettava määrittystapa ja korreloivan toisen ventilaatiokynnyksen kanssa. Sen on myös todettu olevan toistettava (CV 4,3 %) ja korreloivan hyvin ( $r > 0,75$ ) kestävyysuorituskyvyn kanssa (Heuberger ym. 2018).  $D_{max}$  ja  $D_{mod}$  suhde toisiinsa noudattaa aina samaa kaavaa  $D_{max}$ -menetelmällä määritetyn kynnyksarvon ollessa aina alempana (Fabre ym. 2010). Mutta kuten Chalmers ym. (2015) esittää kuviossa 3, myös  $D_{mod}$ -menetelmä on riippuvainen testin viimeisestä laktaatista ja se voi vaikuttaa kynnyksen määrittymiseen.



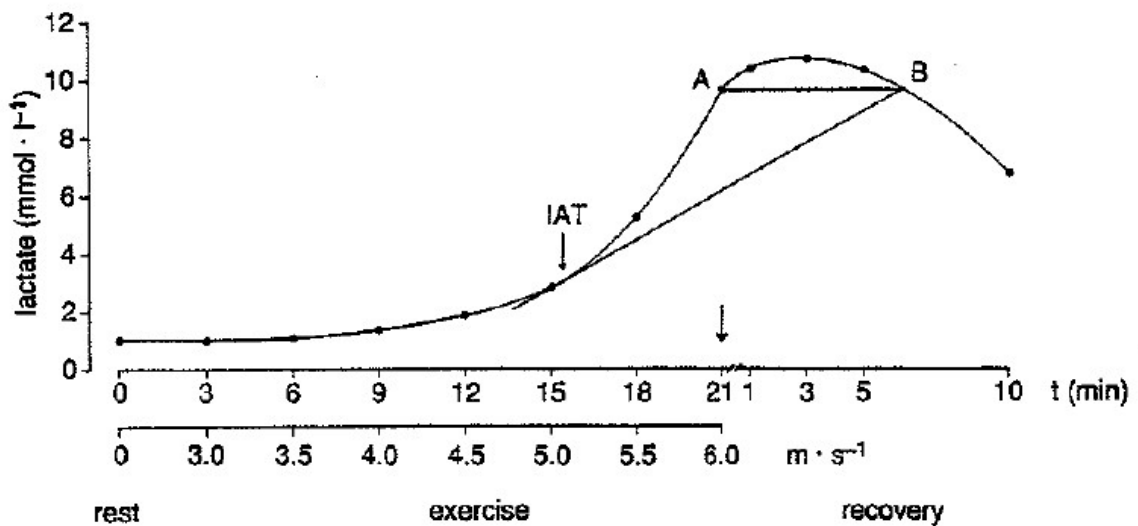
KUVIO 3. Kuviossa on esitetty saman urheilijan harjoittelun seurauksena tapahtunut laktaattikäyrän muutos. Kuviossa A anaerobinen kynnyks on määritetty käyttäen  $D_{max}$ -menetelmää ja kuviossa B  $D_{mod}$ -menetelmää. (Mukailtu Chalmers ym. 2015.)

*Laktaatin minimikohta.* Laktaatin minimikohta -määrittystavan on sanottu olevan ainoa yksittäinen testi (single session test), joka perustuu laktaatin kerääntymisen ja poiston tasapainoon (Wahl ym. 2018). Laktaatin minimikohtaan perustuvassa määrittystavassa anaerobinen kynnys määritetään kahden peräkkäisen maksimitestin avulla (Tegtbur ym. 1993; Wahl ym. 2018). Se perustuu Davis & Gass (1981) huomioon siitä, että laktaattipitoisuudet elimistössä laskevat nousevaintensiteettisen testin alussa, jos ennen testiä on suoritettu maksimaalinen kuormitus. Testissä tehdään ensin maksimaalinen kuormitus, jossa tavoitteena on saada laktaattitasot elimistössä nousemaan korkealle. Testiä seuraa lyhyt lepojakso (7–8 minuuttia), jonka jälkeen suoritetaan nousevaintensiteettinen maksimitesti ja anaerobiseksi kynnykseksi määritetään nopeus, jossa laktaatti on ollut alimmillaan toisessa testissä (kuvio 4). (Tegtbur ym. 1993; Wahl ym. 2018.) Määrittymen menetelmä on riippumaton tutkijasta, koska kynnys analysoidaan matemaattisesti laktaattikäyrään sovitetusta polynomifunktiosta. Näin ollen määrittymen menetelmä antaa objektiivisia tuloksia. (Knoepfli-Lenzin & Boutellier 2011.) Kuormitusportaan kestoksi suositellaan 3–5 minuuttia (800–1200 m kenttätesteissä) (Tegtbur ym. 1993). Toisaalta, myös lyhyemmällä portailla on saatu MLSS-työtehon kanssa korreloivia tuloksia (Knoepfli-Lenzin & Boutellier 2011; Wahl ym. 2018). Kuormaportaiden lisäksi palautumistapaan testien välillä on hyvä kiinnittää huomiota. Täysin passiivisessa levossa tehty palautuminen nostaa kynnystehoa, kun taas kovemmallalla teholla  $VO_2\max$ :stä tehty palautuminen laskee sitä. (Ribeiro ym. 2009.)

*Yksilöllinen anaerobinen kynnys (IAT).* IAT (individual anaerobic threshold) -menetelmä perustuu kuormituksen aikaisiin ja palautuksen aikana mitattuihin laktaattiarvoihin.  $VO_2\max$ -testin aikana mitataan laktaattia normaalisti kuormaportaiden välein, mutta myös testin jälkeen jatketaan mittaamista. Palautumisen aikana määritetään laktaatti, joka on yhtä suuri kuormituksen päättymislaktaatin kanssa. Tästä pisteestä kohti kuormituslaktaattikäyrää piirretään suora ja anaerobinen kynnys määritetään kohtaan, jossa suora kulkee laktaattikäyrän tangenttina (kuvio 5). (Stegmann ym. 1981; Urhaisen ym. 1993.) IAT ottaa huomioon sekä laktaatin tuoton että laktaatin poistonopeuden, sillä laktaattipitoisuuden noustessa tuottonopeus ylittää laktaatin poistonopeuden ja palautumisen aikana toisinpäin (Stegmann ym. 1981). Palautumistavan (aktiivinen vai passiivinen) vaikutus on hyvä ottaa huomioon IAT-määrittämisessä, vaikka Stegmannin ym. (1981) mukaan palautumisen alussa aktiivisen ja passiivisen palautumistavan välillä ei ole eroa laktaattipitoisuuksissa. He kuitenkin suosittelevat lähellä aerobista kynnystä tehtävää aktiivista palautumista laktaatin poiston maksimoimiseksi, kun taas Urhaisen ym. (1993) mukaan palautumistapa on hyvä pitää yhdenmukaisena ja he käyttivät passiivista palautumista.



KUVIO 4. Esimerkki laktaattikäyrästä laktaatin minimikohta -määrittystavassa. Ensimmäinen laktaatti kuvastaa maksimitestin jälkeistä laktaattia, kahdeksan minuutin kohdalla on palautumislaktaatti, jonka jälkeen alkaa nousevatehoisen maksimitestin laktaattikäyrä. (Mukailtu Ribeiro ym. 2009.)

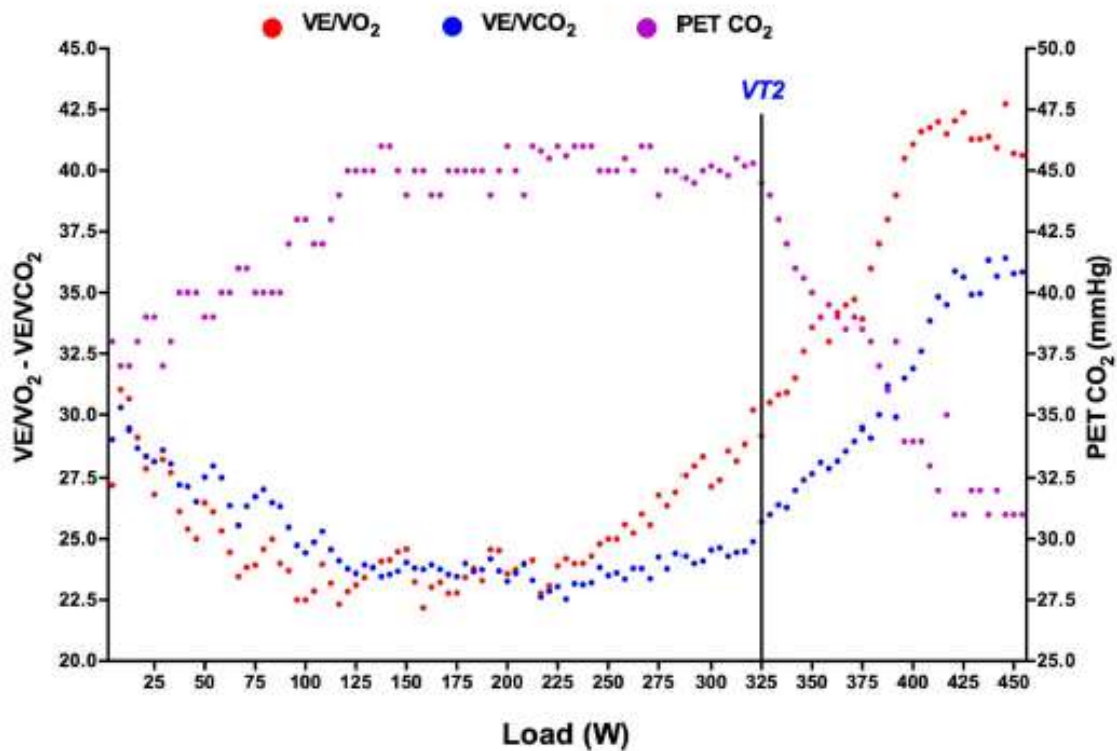


KUVIO 5. Esitys IAT-kynnysmäärittämisestä. Kuormituksen palautumislaktaateista määritetään kohta B, jolloin laktaattipitoisuus on ollut sama kuormituksen päättymislaktaatin (A) kanssa ja tästä laktaatista piirretään käyrälle tangentti. Tangentin ja suoran leikkauskohtaan määritetty anaerobinen kynnys. (Urhausen ym. 1993.)

### 3.3.2 Toisen ventilaatiokynnyksen määrittystapoja

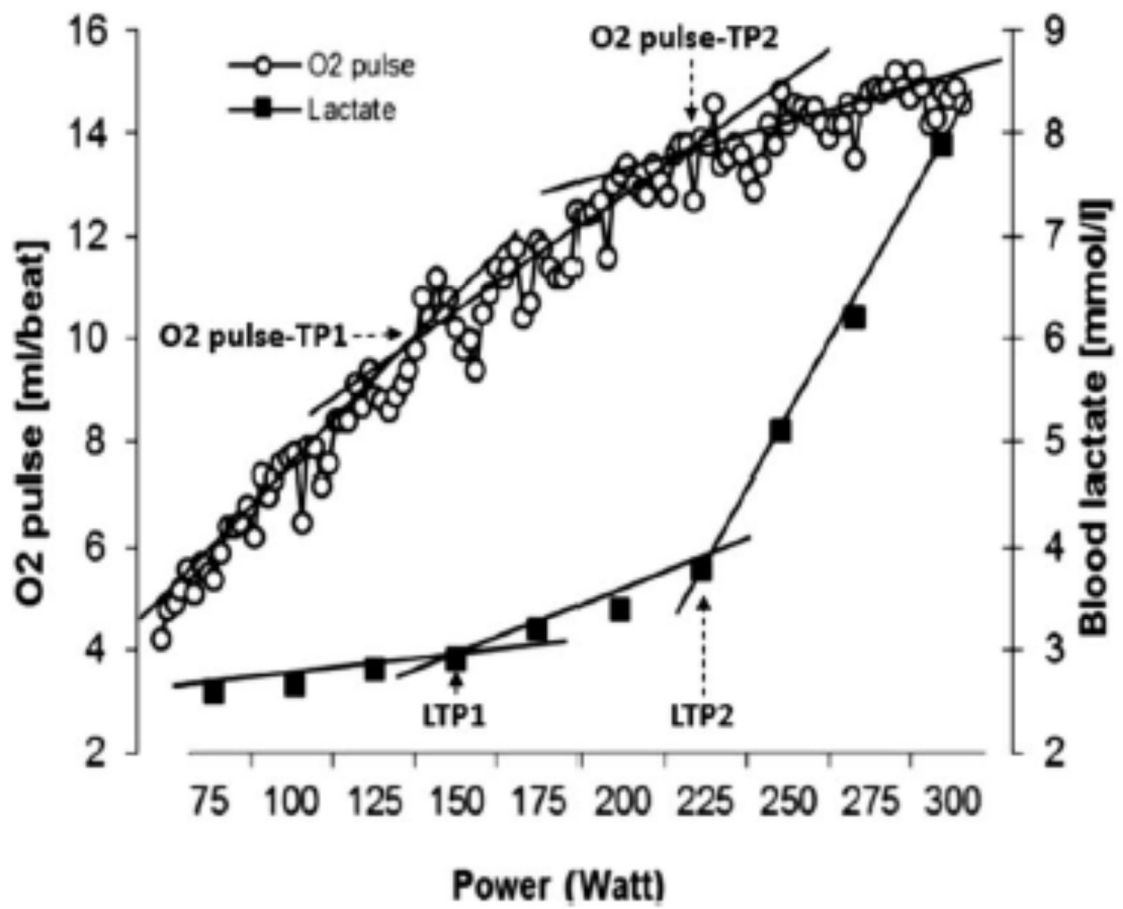
*Toinen ventilaatiokynnys.* Ventilaatiokynnyksestä puhuttaessa täytyy aina huomioida, miten kynnys on määritetty juuri kyseisessä tutkimuksessa. Aiemmin K-Lab-määrittystavassa on esitetty, miten kyseinen ohjelma määrittelee toisen ventilaatiokynnyksen (VT2). Kirjallisuudessa on esitetty myös hiukan erilaisia painotuksia määrittämisessä. Useimmiten VT2 on määritetty vauhdille/työteholle, jossa happi- ja hiilidioksidiekvivalentit nousevat ja uloshengityksen lopun hiilidioksidiosapaine (PETCO<sub>2</sub>) laskee (kuvio 6). (Laplaud ym. 2006; Pallarés ym. 2016.) VT2:n on todettu olevan toistettava eri testien välillä (Pallarés ym. 2016).

*Hengityksen vaihtosuhte (RER).* Hengityksen vaihtosuhte (respiratory gas exchange ratio = RER) kuvastaa hengitysilma- ja veren välillä mitattujen hiilidioksidin tuoton ja hapenkulutuksen suhdetta. Hiilidioksidin tuotto suhteessa hapenkulutukseen muuttuu riippuen käytetystä energianlähteestä: 0,7 arvoilla energiantuotto tapahtuu pelkästään rasvojen avulla ja 1,0 arvolla pelkästään hiilihydraateista. (Nummela & Peltonen 2018.) RER-arvoa 1 on käytetty anaerobisen kynnyksen määrittämismenetelmänä (Yeh ym. 1983; Solberg ym. 2005). Se perustuu siihen, että yli 1 arvoja voidaan saada vain anaerobisen aineenvaihdunnan lisääntyessä riittävästi (vetyionien puskuroinnissa syntyvä hiilidioksidi) (McArdle ym. 2015, 189). RER-arvon 1 on todettu olevan hyvä arvio anaerobisesta kynnyksestä (Laplaud & Menier 2003; Solberg ym. 2005). Arvioon vaikuttaa tietenkin se, mihin arvoa on verrattu (millä tavoin määritetty anaerobinen kynnys). Hengityskaasuista mitattu anaerobinen kynnys on käyttökelpoinen myös siinä mielessä, että hengityskaasuja mitataan koko kuormituksen ajan toisin kuin laktaattia. Näin ollen koko kuormituksen ajalta saadaan tietoa muutoksista eikä rajoituta ainoastaan kuormaportaiden välillä mitattuihin arvoihin. (Solberg ym. 2005.) Toistettavuudesta esiintyy ristiriitaisia tuloksia: Laplaud & Menier (2003) totesivat kynnyksen olevan toistettava, kun taas Pallarés ym. (2016) eivät pitäneet sitä toistettavana.



KUVIO 6. VT2 esitettyä visuaalisesti (Pallarés ym. 2016).

*Happipulssi.* Nikooie (2016) on tutkinut uutta anaerobisen kynnyksen määrittäytapaa happipulssia (O<sub>2</sub>-pulse). Happipulssilla tarkoitetaan hapenkulutuksen (VO<sub>2</sub>) ja sydämen sykkeen välistä suhdetta ja se ilmaisee elimistön hapenkulutuksen per yksi sydämen lyönti (Oliveira ym. 2009; Nummela & Peltonen 2018). Se kuvastaa sydän- ja verenkiertoelimistön tehokkuutta kuormituksen aikana (Oliveira ym. 2009). Sydämen syke kasvaa tavallisesti koko suoran maksimitestin ajan, mutta hapenkulutuksen nousu ei ole niin jyrkkää varsinkaan anaerobisen kynnyksen jälkeen. Näin ollen happipulssissa nähdään tasaantuminen anaerobisen kynnyksen kohdalla (kuvio 7). (Nikooie 2016.) Menetelmän on todettu antavan samankaltaisia kynnysarvoja kuin laktaatin toiseen selkeään nousukohtaan perustuva menetelmä. Sen on sanottu myös olevan hyvin havaittavissa kestävyysurheilijoilla, joilla ei välttämättä näy sykkeessä poikkeamaa anaerobisella kynnyksellä. (Nikooie 2016.) Menetelmästä on kuitenkin olemassa vasta tämä Nikooie (2016) tekemä tutkimus, joten lisää tutkimusta tarvitaan menetelmän luotettavuuden selvittämiseksi.



KUVIO 7. Ylempänä on happipulssi ja alempana laktaattikäyrä. Kuviossa on esitetty niistä määritetyt kynnykset. (Nikooie 2016.)



## 4 MAKSIMAALINEN LAKTAATIN STEADY STATE -TEHO (MLSS)

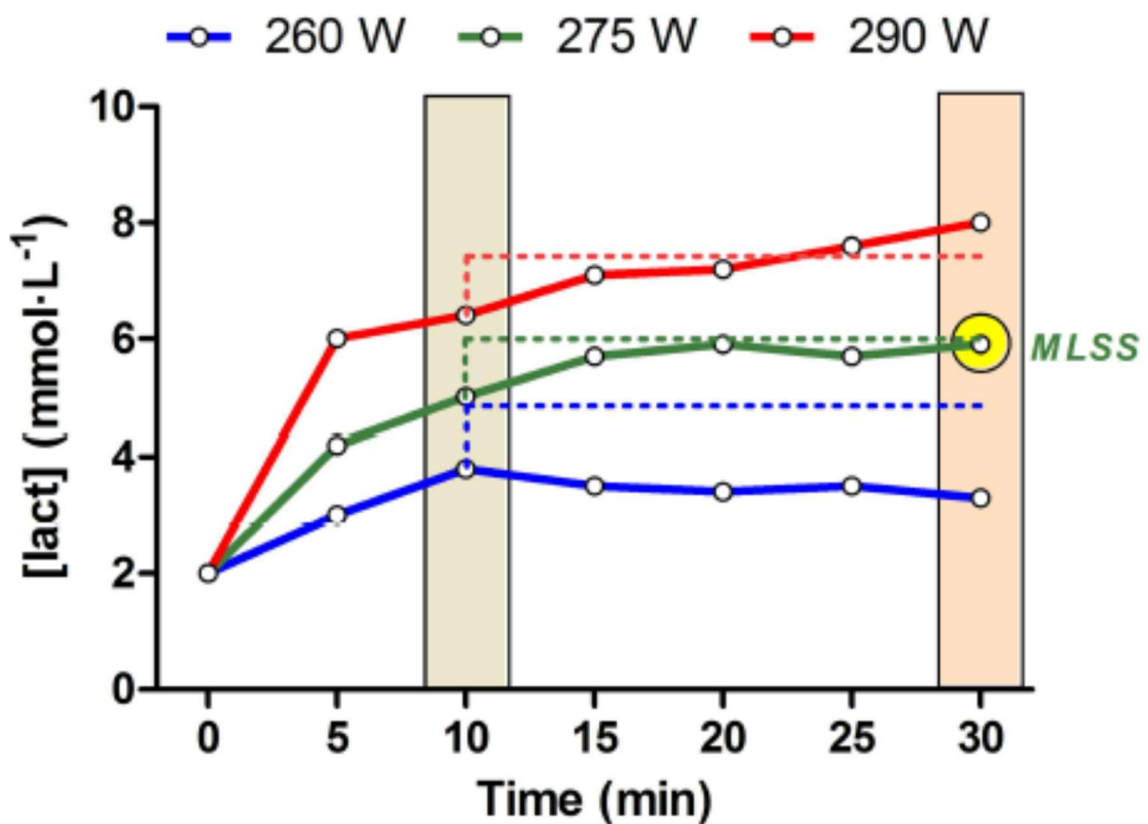
Anaerobisen kynnyksen määrittäminen on mahdollista yhden nousevaintensiteettisen kuormituksen avulla (luku 3). Useimmiten anaerobisella kynnyksellä on tarkoitus arvioida tilaa, jolloin elimistö tuottaa ja poistaa laktaattia saman verran (Heck ym. 1985; Smith & Jones 2001). Tätä kutsutaan maksimaaliseksi laktaatin steady state -tehoksi (MLSS = maximal lactate steady state) (Heck ym. 1985; Beneke 2003; Faude ym. 2009). MLSS-tehon voidaan ajatella olevan rajapinta kestävyysharjoittelussa ja liian suuri määrä sen yläpuolella tapahtuvaa harjoittelua voi johtaa erinäisiin yllirasitustiloihin (Beneke ym. 2003).

### 4.1 MLSS-intensiteetti

MLSS-intensiteetti on siis maksimiteho/-vauhti, jolloin elimistö kykenee poistamaan laktaattia yhtä paljon kuin sitä tuotetaan (Heck ym. 1985; Beneke 2003; Faude ym. 2009). Sen määrittämiseen tarvitaan useita vähintään 30 minuutin tasavauhtisia kuormituksia (Beneke & von Duvillard 1996; Beneke 2003; Billat ym. 2003; Faude ym. 2009; Hauser ym. 2013; Hauser ym. 2014a). Kuormitukset tehdään tavallisesti eri päivinä muutaman vuorokauden välein (Laplaud ym. 2006), jotta palautuminen olisi riittävää. Kuormitukset suoritetaan arvioidusti noin 60–90 prosentin teholla  $VO_{2max}$ -vauhdista (Leti ym. 2012). Vaihtoehtoisesti voidaan aloittaa intensiteetistä, joka vastaa maksimitestissä määritettyä anaerobista kynnystä. MLSS-taso määritetään kuormitusintensiteetille, jossa laktaattipitoisuus testin 10 ja 30 minuutin aikana nousee enintään 1 mmol/l (kuvio 8) (Heck ym. 1985; Beneke 2003). Monen testin tekeminen on kuitenkin urheilijan arjessa aikaa vievää (Smith & Jones 2001; Leti ym. 2012) ja siksi usein päädytäänkin tekemään yksi maksimitesti (Wahl ym. 2018), josta määritetään anaerobinen kynnyks.

Mitä korkeammalle MLSS-intensiteetti asettuu, sitä parempi on tavallisesti kestävyys suorituskyky (Billat ym. 2003; Faude ym. 2009; Fontana ym. 2009; Greco ym. 2012). MLSS-vauhtia voidaan vielä ylläpitää ilman merkittävää anaerobisen energiantuoton aktivoitumista (Heck ym. 1985). Tällöin energiaa tuotetaan yhtä paljon niin hapellista reittiä pitkin kuin glykolyysin kautta (Beneke ym. 2000). RER-arvo (respiratory exchange ratio) on lähellä arvoa 1 MLSS-kuormituksissa (Beneke ym. 2000), koska se kuvastaa hiilidioksidin tuoton ja hapenkulutuksen suhdetta (McArdle ym. 2015, 189). Täten hiilihydraatit ovat pääasiallinen energianlähde ja nii-

den vähäisyys voi aiheuttaa suorituskyvyn laskun (Sahlin ym. 1998). Yli MLSS-tehon vauhteilla laktaatti nousee jatkuvasti ja sitä alkaa kertyä lihaksistoon vaikeuttaen kyseisen intensiteetin ylläpitoa (Hauser ym. 2013). Pyöräilyssä jo 10 watin vastuksen nosto yli MLSS-tehon heikensi MLSS-pyöräilyn jälkeistä uupumukseen asti tehdyn suorituksen aikaa noin 50 prosenttia (Iannetta ym. 2018). Tällöin energiaa tuotetaan enemmän anaerobisen glykolyysin kautta kuin pyruvaattia hapettamalla aerobisesti (Heck ym. 1985; Beneke ym. 2000). Huomattavaa Iannetan (2018) tutkimuksessa oli, että hapenkulutus pysyi sekä MLSS-suorituksessa että 10 W yli MLSS-suorituksessa stabiilina, vaikka ventilaatio nousi.



KUVIO 8. MLSS-intensiteetin määrittäminen kolmen testin avulla (Pallarés ym. 2016).

MLSS:n laktaattitaso (MLSS<sub>la</sub>) on yksilöllinen (Heck ym. 1985; Beneke ym. 2000; Billat ym. 2003; Smekal ym. 2012; Faude ym. 2017). Kestävyyssuorituskyky (Heck ym. 1985; Smekal ym. 2012), sukupuoli (Smekal ym. 2012) ja MLSS:n työteho (Beneke ym. 2000) eivät vaikuta laktaattitasoon MLSS-kuormituksessa. Käytetty lihasmassan määrä testin aikana eli testin suoritusstapa voi vaikuttaa laktaattitasoon suhteen ollessa käänteisesti verrannollinen (Beneke & von Duvillard 1996; Billat ym. 2003). Laktaattitason vaihteluväli eri ihmisillä voi olla 2–8 mmol/l (Beneke ym. 2000; Billat ym. 2003; Faude ym. 2009; Wahl ym. 2018) eikä syytä tälle

vaihtelulle ole löydetty (Billat ym. 2003). Harjoittelun ei ole todettu vaikuttavan laktaattipitoisuuden MLSS-vauhdilla (Billat ym. 2004).

Yksilöiden välisen luontaisen vaihtelun lisäksi testitilan olosuhteet voivat vaikuttaa systemaattisesti mitattuihin muuttujiin. Lämpimämmässä testitilassa (40 °C vs. 22 °C) laktaattipitoisuuksien ja työskentelytehon MLSS-tasolla on todettu jäävän alhaisemmiksi. Sykkeessä ei tilastollisesti merkitsevää eroa ollut kuin testin loppupuolella. Onkin tärkeää raportoida testitilan lämpötila, jotta sen vaikutus voidaan huomioida analysointivaiheessa. (de Barros ym. 2011.)

MLSS-mittauksissa tehdään siis tavallisesti 30 minuutin kuormituksia. On kuitenkin myös tutkittu, kauanko MLSS –työtehoa pystyy ylläpitämään. Kohtalaisesti harjoittelevilla ( $3,7 \pm 1,6$  h / vk) kuormitukset päättyivät pyörällä tehdyssä kuormituksessa 37,7 (8,9) minuutin kohdalla ja juosten juoksumatolla 34,4 (5,4) minuutin kohdalla (Fontana ym. 2009). Baron ym. (2008), Dittrich ym. (2014) ja Faude ym. (2017) ovat tutkineet parempikuntoisten MLSS-kuormitusten loppumisaikoja. Baron ym. (2008) pyörällä tehdyssä tutkimuksessa loppumisaika oli 55,0 (8,5) minuuttia. Dittrich ym. (2014) mukaan juosten tehdyssä tutkimuksessa tutkittavat jaksoivat keskimäärin 68 (11) minuuttia, jos MLSS-vauhti oli määritetty kuormituksista ilman taukoja ja 58 (15) minuuttia, jos MLSS-vauhti oli määritetty tauotetuista (1:5 min) MLSS-kuormituksista. Faude ym. (2017) huomasivat päättymisajan luotettavuuden olevan heikko, sillä kahdessa samalla teholla tehdyssä pyöräilykuormituksessa päättymisajat olivat 50,8 (14,0) ja 48,2 (16,7) minuuttia (CV = 24,6 %). Näistä voidaan kuitenkin päätellä, että enemmän harjoitelleilla maksimityöskentelyaika MLSS-työteholla voisi olla pidempi kuin vähemmän harjoitelleilla. Tämä paraneminen voi johtua siitä, että harjoittelun myötä laktaatin kuljetus solussa ja solujen välillä paranee (Billat ym. 2003) tai esimerkiksi psyykinen kapasiteetti sietää väsymystä kehittyä harjoittelun myötä. Tätä tukee Billat ym. (2004) tutkimus, jossa säännöllinen harjoittelu MLSS-teholla paransi MLSS-nopeutta, mutta pidensi myös MLSS-nopeudella suoritettua maksimiai-kaa (44 minuutista 63 minuuttiin). Baron ym. (2008) yrittivät tutkia syitä suorituksen päättymiseen MLSS-intensiteetillä, mutta tutkimuksessa ei ilmennyt selkeää kehon tasapainon järkkymistä mitattuna hengitys- ja verenkiertoelimistön, aineenvaihdunnan ja happo-emästatapainon kautta. Kuitenkin esimerkiksi kreatiinikinaasin ja kortisolien määrä veressä lisääntyy uupumukseen asti suoritettussa MLSS-kuormituksessa (Dittrich ym. 2013).

MLSS-intensiteettiä on pyritty myös arvioimaan yksittäisten testien avulla, jotta testimenetelmä ei olisi niin kuormittava. Polkupyörätesteissä on huomattu, että 40 kilometrin keskimääräinen ajonopeus, syke ja laktaatti korreloivat hyvin MLSS-nopeuden kanssa. (Harnish ym. 2001.) MLSS-intensiteettiä on myös pyritty määrittämään matemaattisesti  $VO_{2max}$ :n, laktaatin poistonopeuden ja kehon painon avulla. Laskettu ja todellinen MLSS-teho korreloivat pyörällä tehdyssä tutkimuksessa voimakkaasti ( $r: 0,92, p < 0,001$ ). Näin ollen laskentamenetelmän on sanottu olevan yhtä hyödyllinen MLSS-tehon arviointi kuin laktaattikynnyksetkin. (Hauser ym. 2014b.) Sen on todettu olevan myös luotettava menetelmä MLSS-tehon määrittämisessä (Adam ym. 2015).

#### **4.2 MLSS-intensiteetin yhteys anaerobiseen kynnykseen**

Koska MLSS-intensiteetin määrittäminen ei ole realistinen vaihtoehto urheilijan arjessa (Beneke ym. 2011), on sitä pyritty arvioimaan anaerobisen kynnyksen avulla (van Schuylenbergh ym. 2004; Laplaud ym. 2006). MLSS-tasoa ja anaerobista kynnystä yhdistää yhteinen fysiologinen tausta (Beneke ym. 2003). Tällöin yhden testin tekeminen riittäisi testattavalle urheilijalle. Näin säästyisi aikaa ja testitapahtumat eivät vaikuttaisi liikaa harjoitteluun. Tiettyjen laktaattikynnysten ja MLSS-tehon on sanottu olevan lähellä toisiaan, mutta yksilöllä MLSS-tehon ennustettavuus laktaattikynnysten avulla on kohtalaista (Beneke ym. 2011).

Kiinteistä kynnysarvoista on tutkittu niin 3,5 mmol/l ja 4 mmol/l avulla määritettyjen kynnysten yhteyttä MLSS-intensiteettiin. 3,5 mmol/l kynnystehon on todettu korreloivan MLSS-tehoon niin harjoittelemattomilla ( $r = 0,81$ ) kuin kilpapyöräilijöilläkin ( $r = 0,77$ ) (Denadai ym. 2004). Myös 4 mmol/l kynnysteho korreloi hyvin MLSS-tehon kanssa pyöräilijöillä (Hauser ym. 2014a; Wahl ym. 2017). Hauser ym. (2014a) huomioivat kuitenkin, että yksilöllä vaihteluväli oli suuri 4 mmol/l ja MLSS-työtehon välillä, joten sen käyttöä ei voida suositella käytännön testaamisessa. Lisäksi suoritettu laji vaikuttaa laktaattipitoisuuteen MLSS-työteholla, joten kiinteän arvon käyttö ei ole suotavaa (Beneke & von Duvillard 1996).

Laktaatin toinen käännekohta -määrittävien yhteys MLSS-tasoon on todettu hyväksi. Niiden välillä ei ole todettu merkittävää eroa kynnysnopeuden eikä kynnysshapenkulutuksen suhteen. Se voi kuitenkin yksilötasolla yli- tai aliarvioida MLSS-tasoa. (Smith & Jones 2001.) Myös

Smekal ym. (2012) huomasivat MLSS-työtehon korreloivan laktaatin toisen käännekohtan kanssa ( $r = 0,944$ ,  $p < 0,001$ ).

Stegmannin ym. (1981) kehittämä yksilöllinen anaerobinen kynnyks (IAT) voidaan Urhausenin ym. (1993) mukaan rinnastaa MLSS-työtehoon. On kuitenkin tutkittu, että IAT voi hieman yliarvioida oikeaa MLSS-työtehoa eikä näin ollen ole tarkka määrittäystapa (Urhausen ym. 1993; Beneke 1995; Hauser ym. 2014a). IAT ei ole tämän takia käyttökelpoisin kynnysmäärittäystapa (Beneke 1995; Hauser ym. 2014a).

Knoepfli-Lenzin ja Boutellier (2011) käyttivät tutkimuksessaan 90 sekunnin kuormitusportaita ja huomasivat, että laktaatin minimikohta -määrittäysmenetelmällä määritetty anaerobinen kynnyks ja MLSS-työteho korreloivat toistensa kanssa. Tegtbur ym. (1993) mittasivat kenttätestissä 800 metrin (n. 3 minuuttia) kuormitusportailta samansuuntaisia tuloksia. Wahl ym. (2017) vertailivat pyörällä suoritettua MLSS-tasoa mukailtuun laktaatin minimikohtatestiin, mukailtuun käänteiseen laktaattikynnystestiin, mukailtuun  $D_{max}$ -testiin ja 4 mmol/l kiinteään kynnysarvoon. Kaikki näistä olivat yhdenmukaisia MLSS-työtehon kanssa mukailtun laktaatin minimikohtatestin antaessa parhaan yhtäläisyyden. Näitä kaikkia voidaan siis käyttää MLSS-työtehon määrittäyksessä. Wahl ym. (2018) tekivät myös juosten laktaatin minimikohtan vertailun MLSS-tasoon, ja tutkijoiden mukaan laktaatin minimikohtan vauhti korreloi MLSS-vauhdin kanssa.

MLSS-tason yhteyttä  $VO_2max$ -testissä määritettyihin ventilaatiokynnyksiin 1 ja 2 (katso luku 3.3.2) on tutkittu.  $VT1:n$  ja  $VT2:n$  ei ole todettu antavan luotettavaa arviota vaan tyypillisesti  $VT1$  aliarvioi ja  $VT2$  yliarvioi MLSS-tasoa niin pyörällä kuin juosten tehdyissä tutkimuksissa. (Laplaud ym. 2006; Pallarés ym. 2016; Cerezuela-Espejo ym. 2018.) Laplaud ym. (2006) tutkivat myös RER-arvon 1 yhteyttä MLSS-tasoon. Heidän mukaansa maksimitestistä havaittu RER1-taso korreloi vahvasti MLSS-tason kanssa niin tehon, hapenkulutuksen, hiilidioksidin tuoton sekä laktaatin osalta. Myös radalla juosten tehdyssä tutkimuksessa RER1-taso oli vahvasti yhteydessä MLSS-tason kanssa niin vauhdin, sykkeen kuin laktaatin osalta (Leti ym. 2012). Näin ollen RER1 on yksi hyvä tapa arvioida MLSS-tasoa (Laplaud ym. 2006; Leti ym. 2012).

Eri tutkimusten vertailu on hankalaa maksimitestin kynnysten ja MLSS-tason välillä, koska maksimitestin voi suorittaa hyvin monella eri tavalla. Vaikka kynnysmäärittäystapa olisi sama

eri tutkimuksissa niin maksimitestin kuormien pituus tai kynnysten väliset nostot voivat erota. (van Schuylenbergh ym. 2004.) Toisaalta myös kuormitustapa eri tutkimuksissa vaihtelee eri lajien välillä. Esimerkiksi pyöräilijöillä tehtyjen tutkimustulosten käyttö juoksijoiden harjoittelun suunnittelussa voi olla harhallista (Cerezueta-Espejo ym. 2018). Lisäksi on huomattu, että keskiarvoja vertaamalla tulokset ovat samansuuntaisia, mutta yksilöillä voi olla isoja eroja MLSS-työtehon ja eri tavoin määritettyjen anaerobisten kynnyksien välillä.

## 5 KESTÄVYYSSUORITUSKYVYN PÄIVÄKOHTAINEN VAIHTELU

Testitulosten tulkinnassa on tärkeää huomioida, että urheilijan suorituskyky voi vaihdella päivien välillä (Marschall ym. 2014). On tärkeää tietää, onko suorituskyvyn muutos todellinen muutos vai satunnaista suorituskyvyn heilahtelua (Bagger ym. 2003). Suuri vaihtelu yksilön maksimisuorituskyvyssä tai fysiologisissa vasteissa voi aiheuttaa erilaisen harjoitusvasteen kuin mikä oli tavoitteena (Faude ym. 2017). Yksi käytössä oleva vaihtelua kuvaava mittaustapa on variaatiokerroin (coefficient of variation = CV) (Hopkins & Hewson 2001; Pallarés ym. 2016). Tasavauhtisissa kuormituksissa fysiologisten mittareiden luotettavuutta on tutkittu vain vähän (Faude ym. 2017).

### 5.1 Mitattavien muuttujien päiväkohtainen vaihtelu

Monet urheilijat mittaavat sykettä säännöllisesti niin harjoituksissa kuin kilpailuissakin. On tärkeää kuitenkin ymmärtää, että syke vaihtelee päivien välillä ja ennen kuin sykettä voidaan käyttää esimerkiksi ylikunnon määrittämisessä, täytyy sen tyypillinen vaihtelu tutkia (Lamberts & Lambert 2009). Vaihtelu on tavallisesti suurinta kevyillä intensiteeteillä ja pienenee, kun intensiteettiä nostetaan (Wergel-Kolmert ym. 2002; Lamberts ym. 2004; Lamberts & Lambert 2009). Tämä voi johtua jännityksestä testiä ennen ja testin alussa (Wergel-Kolmert ym. 2002). 85–90 prosentin tehoilla maksimisykkeestä vaihtelun on todettu olevan vähäisintä (Lamberts & Lambert 2009) ja Lamberts ym. (2004) mukaan syke voi vaihdella noin seitsemän lyöntiä minuutissa 90 prosentin teholla maksimista työskennellessä. MLSS-kuormituksessa yksilön sisäinen vaihtelu on ollut hyvin vähäistä, CV: 2,1 % (Faude ym. 2017) kuten myös submaksimaalisella kuormalla maksimitestin alkupuolella (CV: 3,4 %) (Wergel-Kolmert ym. 2001). Myöskään keskiarvoisissa sykearvoissa submaksimaalisella teholla tehdyissä kuormituksissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kuormitusten välillä (de Souza Silveira ym. 2016). Sykettä onkin kuvattu luotettavaksi muuttujaksi (Lamberts ym. 2004; Hauser ym. 2013) ja sen päivien välinen vaihtelu on pientä (Hauser ym. 2013; Hoefelmann ym. 2014). Kuitenkin Grant ym. (2002) toisittavuustutkimuksessa syke ei käyttäytynyt stabiilisti kuormitusten välillä. On todettu, että syke vaihtelee enemmän palautumisen aikana kuin sitä edeltäneen kuormituksen (Lamberts ym. 2004; Lamberts & Lambert 2009).

Hauser ym. (2013) tutki sykkeen lisäksi tehon ja laktaatin toistettavuutta MLSS-kuormituksissa. Laktaattipitoisuuksissa todettiin olevan enemmän vaihtelua päivien välillä. Laktaattipitoisuus veressä voi vaihdella suuresti eri päivinä tehtyjen samanlaisten tasavauhtisten kuormitusten välillä (CV: 16,6 % ja 15,7 %) (Hauser ym. 2013; Faude ym. 2017). Maksimitestissä maksimilaktaatissa on todettu olevan korkea CV (16,1 %), mutta LA+1,5 mmol/l määrittäytävällä määritetyllä kynnyksellä CV oli pienempi laktaatille (6,5 %) (Hoefelmann ym. 2014). Suuri vaihtelu voi aiheuttaa sen, että eri päivinä yhtäläisellä absoluuttisella intensiteetillä suoritettu kuormitus aiheuttaa erilaisen metabolisen rasituksen keholle (Faude ym. 2017). Laktaattipitoisuuden heikko toistettavuus voi johtua esimerkiksi kehon glykogeenivarastojen muutoksista päivien välillä. Glykogeenivarastojen muutokset voivat johtua esimerkiksi ravinnosta tai aiemmin suoritetusta harjoituksesta. (Hauser ym. 2013.) Ainoastaan laktaattipitoisuuden käyttöä harjoittelun aiheuttamien muutosten seurannassa tulisi välttää (Bagger ym. 2003). Jos testissä on eri kuormitusportaita, niiden kesto voi vaikuttaa laktaattiarvojen toistettavuuteen pidempien portaiden ollessa toistettavampia (Gavin ym. 2014). Laktaattimittauksen toistettavuudessa pitää ottaa huomioon myös näytteenotto sekä laktaattianalysointori. Näiden aiheuttama yhteisvirhe on noin 3–7 % luokkaa (Beneke ym. 2011).

Faude ym. (2017) tutki uupumiseen saakka pyörällä tehdyssä MLSS-toistettavuustutkimuksessa erinäisiä muuttujia ja niiden variaatiota testien välillä. Keskiarvot pysyivät suhteellisen samoina yksilöiden välillä niin RPE-arvoissa (CV: 2,4 %), kehon lämpötilassa (CV: 1,4 %), hapenkulutuksessa (CV: 4,3 %), RER-arvoissa (CV: 3,3 %), ventilaatiossa (CV: 8,3 %) ja hengitystiheydessä (CV: 5,3 %). Näistä RPE, hapenkulutus, ventilaatio ja hengitystiheys myös korreloivat vahvasti ( $ICC > 0,7$ ). Bagger ym. (2003) puoltaa esimerkiksi hapenkulutuksen, RER-arvon ja sykkeen käyttöä harjoittelun aiheuttamien muutosten seurannassa niiden alhaisen variaation takia.

Wergel-Kolmert ym. (2002) ovat tutkineet pyörällä tehdyn maksimisuorituksen toistettavuutta toistettavuuskertoimen ( $COR = \text{coefficient of repeatability} = 2 \text{ SD} / \text{KA}$ ) avulla, joka on siis noin kaksinkertainen variaatiokertoimeen verrattuna. Heidän mukaansa hapenkulutus submaksimaalisella (40 %) tasolla vaihteli 14 % ja maksimaalisella tasolla 11 % eli vaihtelu pieneni myös kuormituksen intensiteetin kasvaessa. Hapenkulutuksen toistettavuutta on tutkittu myös kävelytutkimuksessa, jossa vauhtina käytettiin 5 km/h. Tutkimuksessa hapenkulutuksen CV



kahden eri kävelysuorituksen välillä oli 6,4 % ja hiilidioksidin tuoton 5,2 %. (Wergel-Kolmert & Wohlfart 1999.)

## **5.2 Kuntotason ja sukupuolen vaikutus suorituskyvyn päiväkohtaiseen vaihteluun**

Parempikuntoisten suorituskky vaihtelee tavallisesti vähemmän kuin huonompikuntoisten (Hopkins & Hewson 2001; Grant ym. 2002; Gavin ym. 2014). Esimerkiksi Hopkins & Hewsonin (2001) tutkimuksessa heikompien juoksijoiden CV:n suhde parempiin oli 1,0–2,3, mikä osoittaa heikompien CV-arvojen olleen jopa yli kaksinkertaisia. Myös Spencer ym. (2014) saivat samansuuntaisia tuloksia huipputason hiihtäjillä (koko aineiston CV:n suhde top-10 hiihtäjiin oli 1,2–1,6). Syyksi tälle on esitetty, että heikommat ovat esimerkiksi kilpailleet vähemmän ja näin ollen suoritus on heille vieraampi (Hopkins & Hewson 2001). Myös motivaatiossa ja asenteessa voi olla eroja (Hopkins & Hewson 2001). Hopkins ja Hewson (2001) toteavat myös vanhempien urheilijoiden olevan toistettavampia mahdollisesti kokemuksen tuoman varmuuden takia.

Sukupuolen vaikutusta toistettavuuteen ja suorituskkyyn ei ole pystytty osoittamaan, sillä tulokset ovat hyvinkin ristiriitaisia. Niin naisten (Hopkins & Hewson 2001) kuin miesten (Hébert-Losier ym. 2015) on todettu olevan toisiaan toistettavampia. Toisaalta miesten ja naisten välillä ei myöskään ole huomattu eroja toistettavuudessa (Grant ym. 2002; Spencer ym. 2014). Naisilla kuitenkin oletetaan usein tapahtuvan enemmän suorituskvyn vaihtelua (Hopkins & Hewson 2001; Hébert-Losier ym. 2015). Julian ym. (2017) mukaan jalkapalloilijoilla YoYo-testin suorituskky oli parempi follikulaarisessa vaiheessa kuin luteaalivaiheessa. Kuitenkin Tounsi ym. (2018) mukaan YoYo-testissä ei ole eroja suorituskvyyssä eri kuukautiskierron vaiheissa. Voidaan siis olettaa, että kuukautiskierron vaikutus on suhteellisen olematon toistettavuuteen (Hopkins & Hewson 2001; Grant ym. 2002).

## **5.3 Suorituskky – testien luotettavuus ja toistettavuus**

Luotettavuudella tarkoitetaan testin tai mitattavan muuttujan toistettavuutta testikerrasta toiseen yhdellä yksilöllä. Mitä toistettavampi, sitä tarkempia tuloksia voi yksittäisestä testistä saada ja sitä tarkemmin voidaan arvioida muutoksia esimerkiksi suorituskvyyssä. Näin ollen luotetta-

vuudesta puhutaan synonyyminä toistettavuuden kanssa. (Hopkins 2000.) Luotettavuuden mittaamisessa on kolme tärkeää osaa: yksilöllä tapahtuva satunnainen vaihtelu (within-subject variation), keskiarvon systemaattinen muutos (systematic change in the mean) ja korrelaatio testien välillä (retest correlation) (Hopkins ym. 1999). Lisäksi testimuoto, tietty kesto vai uupumukseen asti, voi vaikuttaa toistettavuuteen (Jeukendrup ym. 1996).

Tarpeellisin ja tärkein näistä on yksilöllä tapahtuva vaihtelu testikertojen välillä (Hopkins ym. 1999; Hopkins 2000). Mitä pienempi se on, sitä helpompaa on mitata suorituskävyssä tapahtuvia muutoksia. Yksilöllä tapahtuvaa suorituskävyyn vaihtelua voidaan mitata esimerkiksi keskihajonnan, variaatiokertoimen tai yhtäpitävyysrajojen (limits of agreement) avulla. Keskihajontaa voidaan kutsua myös mittauksen keskivirheeksi ja se kuvastaa mittauksessa tapahtuvaa tyypillistä virhettä. Tyypillisin syy keskivirheen olemassaololle on biologinen, koska esimerkiksi psyykinen suorituskävy voi vaihdella. Variaatiokerroin kuvastaa keskihajonnan ja keskiarvon suhdetta. Se on dimensioton suure, jolloin eri muuttujien luotettavuutta on helpompi verrata toisiinsa. (Hopkins 2000.) Bland ja Altman (1986) kehittivät yhtäpitävyysrajat luotettavuuden tutkimiseen. Rajaviivojen avulla saadaan määritettyä alue, jonka sisälle yksilöiden erot mittausten sisällä ovat 95 % tarkkuudella. Tähän arvioon suuri vaikutus on tutkittavien yksilöiden määrällä. (Hopkins 2000.)

Keskiarvon muutos kertoo mihin suuntaan urheilijoiden keskiarvoinen suorituskävy liikkuu testiä toistettaessa (Hopkins ym. 1999; Hopkins 2000). Tämä muutos voi johtua satunnaisista tekijöistä tai systemaattisesta muutoksesta. Satunnainen virhe voi johtua esimerkiksi otantavirheestä ja otoskokoa kasvatettaessa satunnainen virhe voidaan saada pienemmäksi. Systemaattista muutosta voi aiheuttaa esimerkiksi oppiminen testikertojen välillä, motivaatiossa tapahtuvat muutokset tai väsymys edellisistä testeistä. (Hopkins 2000.) Nämä pitäisi saada mahdollisimman vähäisiksi, jotta päästään tarkastelemaan oikeita muutoksia testien välillä. Testiin tutustuttaminen ja useampi testisuoritus ovat hyviä näiden ehkäisykeinoja. (Hopkins ym. 1999; Hopkins 2000). Easthope ym. (2014) huomasivat ensimmäisen testisuorituksen eroavan toisesta ja kolmannesta suorituksesta maastajuoksututkimuksessa. Toinen ja kolmas suoritus taas olivat hyvin toistettavia toisiinsa verrattuna. Näin ollen hekin painottavat tutustuttamisen merkitystä.

Korrelaation avulla mitataan kahden muuttujan välistä riippuvuutta toisistaan. Tarkastelu tapahtuu yksilöstä toiseen yksilöön ja jos kaikki yksilöt saavat samat arvot kahdesta eri mittauksesta, asettuvat he suoralle viivalle (korrelaatio on yksi). Toistettavuus on sitä parempi, mitä lähempänä korrelaatiokertoimen arvo on arvoa yksi. Korrelaatiokertoimen käytössä on hyvä huomioida tutkittavien joukon heterogeenisyys. (Hopkins 2000.)

Kestävyystestit voidaan tehdä joko uupumukseen saakka tai siten, että testin kesto tai matka on tiedossa. Testejä, joiden suoritus aika on tiedossa, pidetään toistettavampina kuin avoimia, uupumukseen saakka suoritettuja testejä (CV 3,4–3,5 % vs. 26,6 %, ero tilastollisesti merkitsevä  $p < 0,001$ ). Pääosin tämä voi johtua psykologisista tekijöistä kuten motivaation puutteesta tai suorituksen tylsyydestä. Näin ollen toistettavuustutkimuksissa kannattaa suosia niin sanottuja aika-ajomaisia (time-trial) -testejä, joissa on selkeä kuormitus aika tai suoritettava matka. (Jeukendrup ym. 1996.) Tämä ilmeni myös Faude ym. (2017) tutkimuksessa, jossa tutkittavat suorittivat kaksi MLSS-kuormitusta uupumukseen asti. Loppumisajassa oli suurta vaihtelua yksilöllä näiden kahden testin välillä (CV: 24,6 %). Testien valinnassa on hyvä huomioida myös kuormaportaiden kesto. Pidemmällä portailla testin toistettavuus paranee (8 min vs. 4 min). (Gavin ym. 2014.)

## 6 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla K-Lab-ohjelmalla määritetyn anaerobisen kynnyksen osumista MLSS-tasolle ja kolmen kyseisellä kynnyksellä juostavan 30 minuutin suorituksen toistettavuutta ja tutkittavien suorituskyvyn päiväkohtaista vaihtelua. Tutkimuksessa vertailtiin syke-, laktaatti- ja hengitysmuuttujien arvoja kuormitusten välillä. Niin valmentajien kuin testaajienkin on tärkeää tietää, että mitatuissa muuttujissa ja suorituskyvyssä on mahdollisesti vaihtelua päivien välillä. Tämän vaihtelun huomioiminen on tärkeää esimerkiksi testin tuloksia tulkittaessa.

### 1. Onko kuormitusten välillä systemaattista muutosta mitatuissa muuttujissa?

**Hypoteesi:** Ei.

**Perustelu:** Sykkeen päivittäinen vaihtelu on todettu pieneksi (Hauser ym. 2013; Hoefelmann ym. 2014) ja syketasoissa tapahtuva vaihtelu pienenee kuormitusintensiteetin noustessa (Wergel-Kolmert ym. 2002; Lamberts & Lambert 2009). Juoksumatolla tehdyssä tutkimuksessa sykkeissä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa kahden samanlaisen kuormituksen välillä (de Souza Silveira ym. 2016). Kyseisessä tutkimuksessa kuormitusintensiteetti oli matalampi kuin tässä tutkimuksessa, mikä myös puoltaa hypoteesia. Toisaalta, Kainlaurin (2017) tutkimuksessa sykkeet laskivat ensimmäisestä kuormituksesta toiseen tilastollisesti merkitsevästi. Työssä kuitenkin nostettiin esiin mahdollinen oppiminen ja tottuminen kuormitukseen, mikä on voinut aiheuttaa sykkeiden laskemisen. Parempikuntoisilla tätä ilmiötä ei tutkimuksessa ollut ja tässä tutkimuksessa onkin tarkoituksena tutkia kestävyysharjoitelleita henkilöitä.

Laktaattipitoisuuden vaihteluun voi vaikuttaa esimerkiksi glykogeenivarastojen suuruus (Hauser ym. 2013). Koska tutkittavia ohjeistettiin pitämään ruokavalio muuttumattomana ja sitä myös tarkasteltiin ravitsemuspäiväkirjan avulla, ei suurta systemaattista muutosta voida olettaa tapahtuvan. Myöskään Kainlauri (2017) juoksumatolla tehdyssä tutkimuksessa laktaateissa ei keskiarvoisesti ollut eroa kuormitusten välillä eikä kuntotasokaan vaikuttanut siihen.

## **2. Onko yksilöllä vaihtelua sykkeissä, laktaateissa ja hengitysmuuttujissa kuormitusten välillä?**

**Hypoteesi:** Sykkeissä ja hengitysmuuttujissa ei, laktaateissa kyllä.

**Perustelu:** Yksilöllä tapahtuvaa vaihtelua kuvaava variaatiokerroin on sykkeellä todettu olevan pieni erilaisissa kuormituksissa: 3,4 % (Wergel-Kolmert ym. 2001), 1,1–2,6 % (Lamberts ym. 2004), 0,9–3,0 % (Lamberts & Lambert 2009), 6,3 % (Hauser ym. 2013) ja 2,1 % (Faude ym. 2017). Faude ym. (2017) on tutkinut hengitysmuuttujia MLSS-kuormituksessa. CV:t hapenkulutuksessa (4,3 %), RER-arvoissa (3,3 %) ja ventilaatiossa (8,3 %) olivat suhteellisen pieniä. Hapenkulutuksen ja RER-arvon on todettu myös korreloivan vahvasti ( $ICC > 0,7$ ). Myös kävelytutkimuksessa hapenkulutuksen CV oli pientä (6,4 %) kuin myös hiilidioksidin tuoton (5,2 %) (Wergel-Kolmert & Wohlfart 1999).

Laktaattipitoisuuden CV on ollut tutkimuksissa suurempaa: 16,6 % (Hauser ym. 2013), 6,5 % ja 16,1 % submaksimaalinen ja maksimilaktaatti (Hoefelmann ym. 2014) ja 15,7 % (Faude ym. 2017). Sisäkorrelaatiokerroin ICC on ollut noin 0,7 submaksimaalisilla laktaateilla (Hauser ym. 2013; Hoefelmann ym. 2014).

## **3. Onko toisen ja kolmannen tasavauhtisen kuormituksen välinen ero pienempi kuin ensimmäisen ja toisen?**

**Hypoteesi.** Kyllä.

**Perustelu.** Easthope ym. (2014) huomasivat polkujuoksututkimuksessaan, että ensimmäinen kuormitus erosi toisesta ja kolmannesta ja toinen ja kolmas taas olivat toisiinsa nähden samankaltaisia. He painottivatkin harjoittelun ja tutustuttamisen tärkeyttä. Keskiarvoissa tapahtuvaa systemaattista muutosta voikin aiheuttaa esimerkiksi oppiminen ja väsymys (Hopkins 2000). Nyt tässä tutkimuksessa kuormitustapa oli monelle uudenlainen ja ensimmäisen kuormituksen voisi olettaa olevan harjoittelua.

#### **4. Eroaako K-Lab-ohjelmalla määritetyn anaerobisen kynnyksen laktaatti tasavauhtisten MLSS-kuormitusten keskiarvolaktaatista?**

**Hypoteesi.** Kyllä.

**Perustelu.** Tutkimusten perusteella laktaattitaso MLSS-kuormituksissa voi vaihdella 2–8 mmol/l tutkittavien välillä (Beneke ym. 2000; Billat ym. 2003; Faude ym. 2009; Wahl ym. 2018). Kun anaerobinen kynnyks useimmiten määritetään noin 2,5–4 mmol/l arvoille (Nummela & Peltonen 2018), voidaan näissä huomata selkeää eroa.

## 7 MENETELMÄT

### 7.1 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin 31 vapaaehtoista kestävyysliikkujaa, joista miehiä oli 14 ja naisia 17 tutkittavaa. Harjoitustaustaltaan tutkittavat olivat kuntoilijoita tai kestävyysjuoksulajien (juoksu, suunnistus, triathlon) kilpailijoita ja heillä oli vähintään parin vuoden kestävyysjuoksuharjoittelutausta. 25 tutkittavaa suoritti suoran VO<sub>2</sub>max-testin ja kaikki kolme tasavauhtista kuormitusta. Neljä tutkittavaa (1 mies ja 3 naista) keskeytti tutkimuksen ensimmäisen tasavauhtisen kuormituksen jälkeen ja kaksi tutkittavaa (2 miestä) toisen tasavauhtisen kuormituksen jälkeen. Kaikki olivat tupakoimattomia ja heidän ikäjakaumansa oli 20–45 vuotta. Taustatiedot on esitetty taulukossa 1.

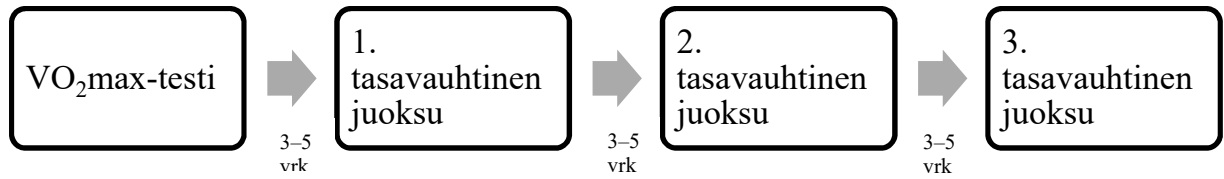
TAULUKKO 1. Tutkittavien taustatiedot esitettynä muodossa keskiarvo (KH).

Sukupuoli	n	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Mies	11	32,8 (6,5)	177,5 (3,1)	73,6 (5,8)	23,3 (1,5)
Nainen	14	28,7 (7,7)	167,8 (4,6)	61,9 (4,3)	22,0 (1,3)
Kaikki	25	30,5 (7,4)	172,1 (6,3)	67,1 (7,7)	22,6 (1,5)

Tutkittavat rekrytoitiin Jyväskylän yliopiston sekä muutamien kestävyyslajien seurojen sähköpostilistojen kautta. He osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heillä oli oikeus keskeyttää tutkimus missä vaiheessa tahansa. Ennen mittauksia kaikille tutkittaville selvitettiin tutkimuksen kulku sähköpostin välityksellä sekä suullisesti ennen ensimmäisen mittauksen aloittamista. Kaikki tutkittavat lukivat ja hyväksyivät suostumuslomakkeen ja tietosuojailmoituksen sekä täyttivät esitietolomakkeen (liite 1). Esitietolomakkeessa ei saanut ilmetä maksimaalisia testejä estäviä sairauksia (kuten esimerkiksi sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksia). Jyväskylän yliopiston Eettinen toimikunta antoi tutkimukselle myönteisen lausunnon.

### 7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää anaerobisella kynnyksellä tehtävän tasavauhtisen juoksu-suorituksen toistettavuutta eli kestävyysuorituskyvyn päiväkohtaista vaihtelua. Tutkittavat suorittivat neljä mittausta neljänä eri päivänä. Ensimmäisenä mittauskertana suoritettiin maksimaalinen hapenottokyvyn testi ja kolmena seuraavana 30 minuutin tasavauhtinen juoksu anaerobisen kynnyksen nopeudella (kuvio 9).



KUVIO 9. Tutkimuksen kulkukaavio. Tutkimuksessa oli yhteensä neljä mittauskertaa ja niiden välissä oli 3–5 vuorokautta.

Mittaukset suoritettiin syksyn 2018 aikana. Mittauskertojen välinen aika oli 3–5 vuorokautta, millä pyrittiin varmistamaan riittävä palautuminen mittauksen välillä. Tutkittavia pyydettiin välttämään raskasta harjoittelua vuorokausi ennen mittauksia, jotta mittauksiin tullessa oltaisiin palautuneessa tilassa (Laplaud ym. 2006; Dittrich ym. 2013). Heitä pyydettiin syömään mahdollisuuksien mukaan samankaltaisesti ennen kaikkia testejä ja välttämään kofeiinipitoisia juomia pari tuntia ennen kuormitusta. Vaatteet ja kengät pyydettiin pitämään samoina jokaisella tutkimuskerralla (Faude ym. 2017). Kaikki testit suoritettiin samaan aikaan vuorokaudesta  $\pm 2$  tuntia (Dittrich ym. 2013). Testitilan lämpötila kirjattiin ylös ja pyrittiin pitämään samankaltaisena tutkimuksen ajan.

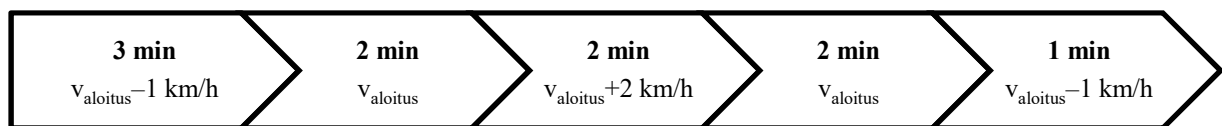
### 7.3 Aineiston keräys ja analysointi

Tutkimuksen aikana kerätty aineisto sisälsi suostumuslomakkeet, esitietolomakkeet, pituuden ja painon, suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin ja kolme tasavauhtista juoksukuormitusta anaerobisella kynnyksellä. Aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston Liikuntalaboratorion tiloissa.

Ennen varsinaisten testien aloittamista tutkittava perehtyi tutkimuksen tiedotteeseen ja tietosuojailmoitukseen ja täytti suostumuslomakkeen tutkimukseen osallistumisesta. Esitietolomakkeessa (liite 1) selvitettiin mahdollisia tutkimuksesta poissulkevia sairauksia ja harjoittelua edeltävien vuorokausien aikana. Lomakkeiden täytön jälkeen tutkittavalta mitattiin pituus 0,5 cm tarkkuudella ja paino 0,1 kilogramman tarkkuudella. Painoindeksi määritettiin näiden avulla jakamalla paino (kg) pituuden neliöllä ( $m^2$ ).



Tutkittavien kuntotason ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseksi suoritettiin suora maksimaalisen hapenottokyvyn testi ( $VO_2\text{max}$ -testi) OJK-1-juoksumatolla (Telineyhtymä Kotka, Kotka, Suomi). Juoksumaton kulmana käytettiin 0,6 astetta (1,0 prosenttia) koko mittausjakson ajan (Heck ym. 1985; Peserico ym. 2015; Nummela & Peltonen 2018), koska sen on todettu vastaavan puuttuvaa ilmanvastusta (Jones & Doust 1996). Ennen kuormituksen aloittamista suoritettiin 10 minuutin lämmittely. Lämmittelyssä käytettiin pyramidimallia ja nopeudet suhteutettiin testin aloituskuormaan. Pyramidimalli oli seuraavanlainen: kolme minuuttia yksi km/h hitaampaa kuin aloitusnopeus, kaksi minuuttia aloitusnopeudella, kaksi minuuttia kaksi km/h kovempaa kuin aloitusnopeus, kaksi minuuttia aloitusnopeudella ja minuutti yksi km/h hitaampaa kuin aloitusnopeus (kuvio 10).



KUVIO 10.  $VO_2\text{max}$ -testin 10 minuutin lämmittelyprotokolla.  $v_{\text{aloitus}}$ ,  $VO_2\text{max}$ -testin aloitusnopeus.

Varsinainen testi aloitettiin väliltä 7–11 kilometriä tunnissa tutkittavan arvioidun kuntotason mukaan. Testi suoritettiin vakiokulmalla (0,6 astetta) nostamalla nopeutta kolmen minuutin välein yksi kilometri tunnissa uupumiseen asti. Kuormitusportaita oli tavoitteena saada 8–10, jolloin testin kesto oli 24–30 minuuttia. Testin jälkeen suoritettiin vähintään viiden minuutin loppuverryttely.

Sydämen sykettä mitattiin koko testin ajan sykemittarilla (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) ja synkronoitiin Polar Flow -ohjelmaan. Myös hengityskaasuja mitattiin koko testin ajan MasterScreen CPX -hengityskaasuanalysointilaitteella (Jaeger, CareFusion Germany 234 GmbH, Hoechberg, Saksa). Mittausmenetelmänä käytettiin Breath by breath -ohjelmaa, jolloin mittaus tapahtui hengitys hengitykseltä. Laite kalibroitiin ennen jokaista testiä asianmukaisesti. Ennen testin aloittamista tutkittavalta otettiin 20  $\mu\text{l}$  verinäyte sormenpäältä laktaattipitoisuuden analysointia varten. Verinäyte otettiin samalla tavalla myös jokaisen kolmen minuutin kuormaportaan jälkeen. Juoksumatto pysäytettiin näytteenoton ajaksi testikellon pyöriessä koko ajan. Näin ollen verinäytteen otto sisältyi aina seuraavan kuormaportaan alkuun, jolloin kuormaportaalla juostu aika oli noin 2 minuuttia ja 40 sekuntia. Verinäytteistä analysoi-

tiin laktaatin määrä (mmol/l) Biosen S\_line Lab+ analysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Lisäksi minuutti ennen kuormaportaan loppua tutkittavalta kysyttiin kuormittuneisuutta Borgin RPE-asteikon (6–20) avulla (liite 2). Testattavan päällä ollut laitteisto on kuvattu kuvassa 2.

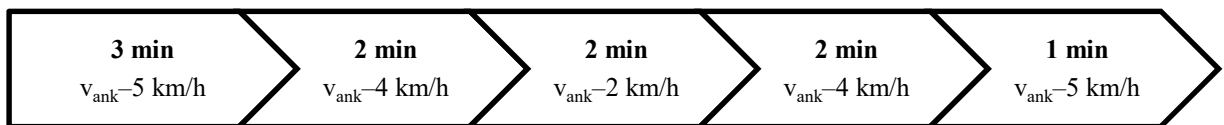


KUVA 2. Kuormituksissa käytetty laitteisto testattavan päällä.

VO<sub>2</sub>max-testistä määritettiin maksimisuorituskykyyn liittyvät maksimiarvot seuraavien muuttujien osalta: hapenottoikyky (VO<sub>2</sub>max), nopeus (v<sub>max</sub>), laktaatti (la<sub>max</sub>) ja syke (HR<sub>max</sub>). VO<sub>2</sub>max määritettiin korkeimmaksi minuutin keskiarvoksi, v<sub>max</sub> oli viimeinen loppuun asti

juostun kuorman nopeus (jos kuorma jäi kesken, laskettiin nopeus kuormalla juostun ajan suhteen),  $la_{max}$  oli testin viimeinen laktaatti ja  $HR_{max}$  testin aikana mitattu korkein syke. Samaiset muuttujat määritettiin myös aerobisen ja anaerobisen kynnyksen osalta K-Lab-menetelmällä (katso luku 3.2.1).

Tasavauhtinen juoksu suoritettiin samalla OJK-1-juoksumatolla kuin  $VO_2max$ -testi. Testin kesto oli 30 minuuttia ja kulmana käytettiin 0,6 astetta. Kuormituksen vauhtina käytettiin  $VO_2max$ -testistä K-Lab-ohjelmalla määritettyä anaerobista kynnyksen nopeutta ( $v_{ank}$ ). Ennen jokaista tasavauhtista testijuoksua mitattiin tutkittavan paino (kg). Lämmittelyä käytettiin 10 minuutin pyramidimallia, joka oli suhteutettu anaerobisen kynnyksen nopeuteen ( $v_{ank}$ ). Ensimmäiset kolme minuuttia juostiin viisi kilometriä tunnissa hitaampaa kuin  $v_{ank}$ , seuraavat kaksi minuuttia neljä kilometriä tunnissa hitaampaa kuin  $v_{ank}$ , seuraavat kaksi minuuttia kaksi kilometriä tunnissa hitaampaa kuin  $v_{ank}$ , seuraavat kaksi minuuttia neljä kilometriä tunnissa hitaampaa kuin  $v_{ank}$  ja lopuksi minuutti viisi kilometriä tunnissa hitaampaa kuin  $v_{ank}$  (kuvio 11). Testissä käytettiin samoja mittausvälineitä kuin  $VO_2max$ -testissä. Syke ja hengitysmuuttujat mitattiin koko testin ajan ja testin jälkeen keskiarvoistettiin minuutin keskiarvoiksi. Ennen testin aloittamista tutkittavalta otettiin 20  $\mu$ l verinäyte sormenpäältä laktaattipitoisuuden analysointia varten. Verinäyte otettiin samalla tavalla myös 10,15, 20, 25 ja 30 minuutin kohdalla testiä (Beneke & von Duvillard 1996). Juoksumatto pysäytettiin näytteenoton ajaksi noin 20 sekunniksi. Minuutti ennen jokaista pysähdystä tutkittavalta kysyttiin kuormittuneisuutta Borgin RPE-asteikon (6–20) avulla (liite 2). Testi suoritettiin samanlaisena kolme kertaa ja tutkittaville kerrottiin mitatuissa muuttujissa ilmenneitä muutoksia vasta viimeisen testin jälkeen.



KUVIO 11. Tasavauhtisissa kuormituksissa käytetty 10 minuutin lämmittelyprotokolla.  $v_{ank}$ , anaerobisen kynnyksen nopeus määritettynä K-Lab-ohjelmalla.

#### 7.4 Tilastolliset menetelmät

Tulokset ovat muodossa keskiarvo (KH). Muuttujien normaalijakautuneisuus tarkistettiin Shapiro-Wilkin testillä. Päivien väliset erot sykkeissä ja laktaateissa ja hengitysmuuttujissa analysoitiin normaalisti jakautuneille muuttujille toistomittausten varianssianalyysillä ja post hoc-korjauksena käytettiin Bonferronin korjausta. Ei-normaalisti jakautuneet tarkastettiin Friedmanin testillä. Yksilön sisäistä vaihtelua arvioitiin variaatiokertoimen (CV) avulla. Tilastollinen merkitsevyys asetettiin  $p < 0,05$ . Analysointi suoritettiin käyttämällä IBM SPSS Statistics 24 sekä Microsoft Excel 2016 -ohjelmia.

## 8 TULOKSET

Suorasta maksimitestistä saadut tulokset ovat esitettynä taulukossa 2. Kaikkien tutkittavien maksiminopeus oli keskiarvoisesti 16,5 (1,5) km/h ja VO<sub>2</sub>max 51,3 (5,7) ml/kg/min. Anaerobisen kynnyksen (Ank) tulokset on määritetty K-Lab-ohjelmalla.

TAULUKKO 2. VO<sub>2</sub>max-testin keskiarvot sukupuolittain ja koko tutkittavajoukolla.

		VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max t	v <sub>max</sub>	LA <sub>max</sub>	HR <sub>max</sub>	VO <sub>2</sub> ank	v <sub>ank</sub>	LA <sub>ank</sub>	HR <sub>ank</sub>
		l/min	ml/kg/min	ml/kg/min	km/h	mmol/l	1/min	ml/kg/min	km/h	mmol/l	1/min
Mies	KA	3,88	52,9	53,5	17,3	12,1	188	44,2	14,0	3,4	168
n = 11	KH	0,33	4,7	5,5	1,5	2,6	10	3,6	1,4	0,7	10
Nainen	KA	3,11	50,1	48,3	15,9	10,4	193	43,3	12,9	3,0	177
n = 14	KH	0,48	6,3	4,2	1,2	3,1	9	5,9	1,3	0,6	9
Kaikki	KA	3,45	51,3	50,6	16,5	11,2	191	43,7	13,4	3,1	173
n = 25	KH	0,57	5,7	5,4	1,5	2,9	10	5,0	1,4	0,7	10

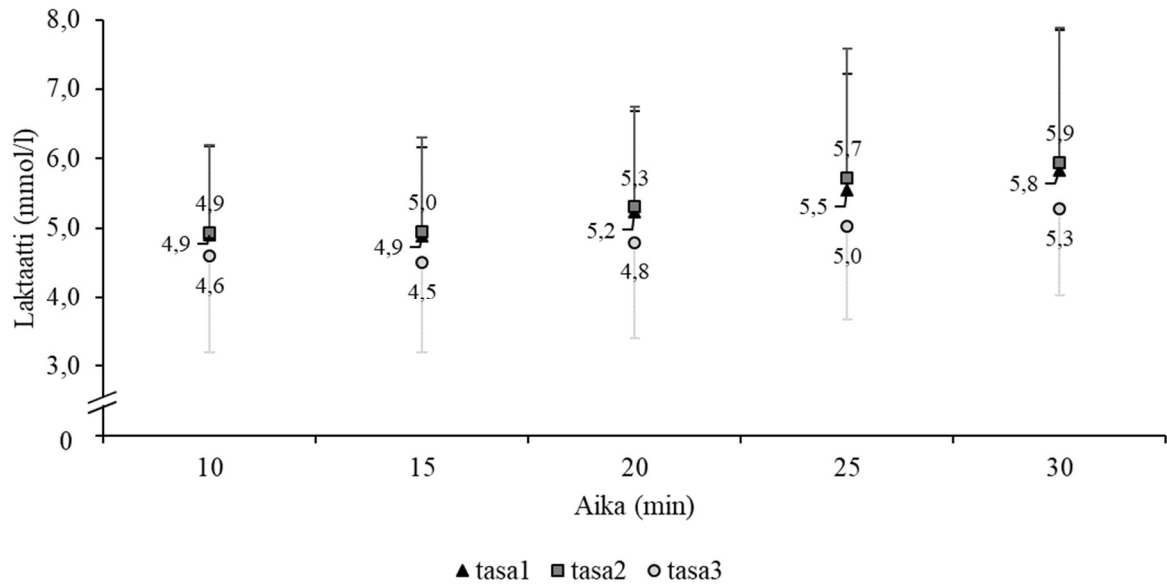
VO<sub>2</sub>max, maksimaalinen hapenottoakyky; VO<sub>2</sub>max t: maksimaalinen teoreettinen hapenottoakyky (Londeree 1986, kuntotaso -2); v<sub>max</sub>, maksiminopeus; LA<sub>max</sub>, maksimilaktaatti; HR<sub>max</sub>, maksimisyke; VO<sub>2</sub>ank, anaerobisen kynnyksen hapenkulutus; v<sub>ank</sub>, anaerobisen kynnyksen nopeus; LA<sub>ank</sub>, anaerobisen kynnyksen laktaatti; HR<sub>ank</sub>, anaerobisen kynnyksen syke.

Tutkittavien painon vaihtelu sekä mittaushuoneen lämpötilan vaihtelu tarkastettiin ennen aineiston analysointia. Tutkittavien paino vaihteli tasavauhtisten kuormitusten välillä keskiarvoisesti 0,1 prosenttia. Normaalin painon vaihtelun raja on sanottu olevan 1,5 prosenttia (Khosla & Billewicz 1964), joten vaihtelu menee selkeästi rajan alle. Kahdella yksittäisellä tutkittavalla painon vaihtelu tasavauhtisten kuormitusten välillä oli suurempaa kuin 1,5 %, toisella ero oli ensimmäisen ja toisen ja kolmannen välillä ja toisella toisen ja kolmannen välillä. Heidät kuitenkin otettiin mukaan analysointiin, koska sen ei katsottu vaikuttaneen tuloksiin. Lämpötilojen samankaltaisuus tarkastettiin toistomittausten varianssianalyysillä ja lämpötiloissa ei ollut merkitseviä eroja päivien välillä ( $p > 0,05$ ).

### 8.1 Systemaattiset muutokset

Systemaattisten muutosten tarkasteluun hyväksyttiin vain ne tutkittavat, joilla oli kyseisestä mittauspisteestä tulos kaikista kolmesta tasavauhtisesta kuormituksesta. Jos jokin puuttui, hänen tuloksiaan ei otettu kyseisen mittauspisteen arviointiin mukaan yhdestäkään tasavauhtisesta. Kuviossa 12 on esitettynä laktaattipitoisuudet eri aikapisteissä kolmessa tasavauhtisessa

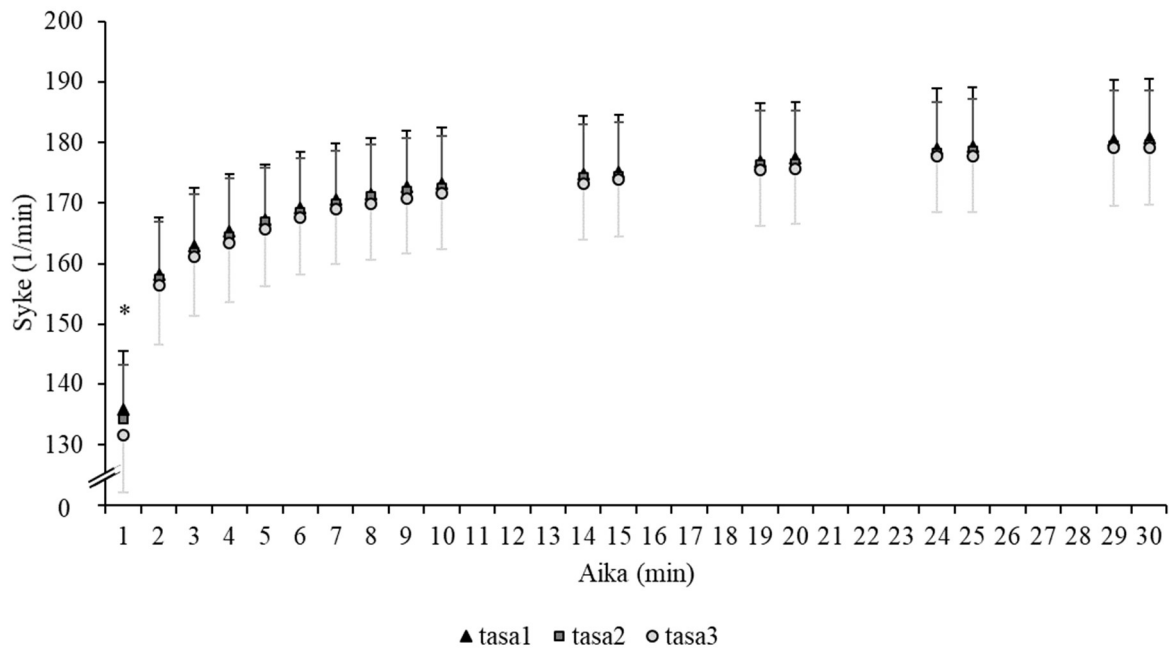
kuormituksessa. Laktaatin osalta ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa yhdessäkään mittauspisteessä ( $p > 0,05$ ), vaikka huomataan kolmannen tasavauhtisen kuormituksen laktaattipitoisuuksien olleen keskiarvoisesti matalammalla läpi testin.



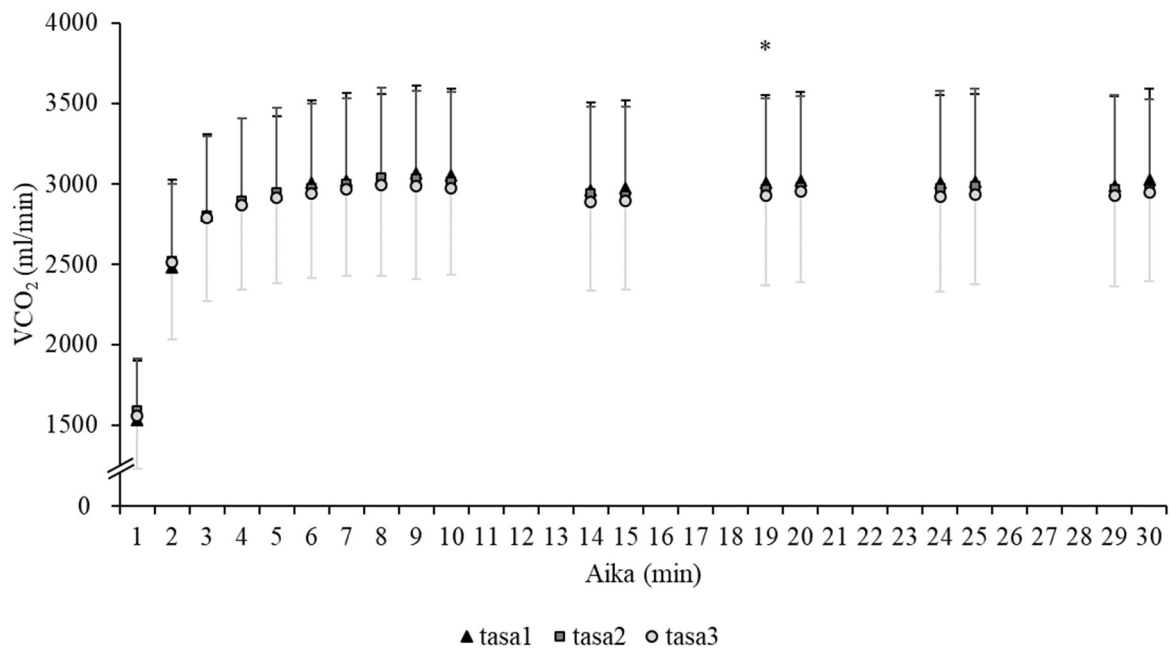
KUVIO 12. Laktaattipitoisuudet testien eri ajankohdissa. Eri mittauspisteissä analysoitujen tutkittavien määrät:  $n_{10-25} = 25$ ,  $n_{30} = 23$ .

Syke on esitettyä kuviossa 13. Mittauspisteinä käytettiin 1–10 minuuttia ja aina kahta laktaatin mittaustaukoa edeltänyttä minuuttia. Sykkeen osalta toistomittausten varianssianalyysin mukaan tilastollisesti merkitsevä ero oli ensimmäisen minuutin sykkeen osalta ( $F(2, 46) = 4,52$ ,  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,164$ ). Bonferroni-korjauksen avulla tehdyn parittaisvertailun mukaan syke laski tilastollisesti merkitsevästi ensimmäisestä tasavauhtisesta viimeiseen ( $p < 0,05$ ). Muissa ajankohdissa tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut.

Hengitysmuuttujat tarkastettiin samoissa mittauspisteissä kuin syke. Kuviossa 14 on esitetty  $VCO_2$ -kuvaaja eri kuormituksissa.  $VCO_2$ -arvoissa oli testin loppupuolella 14, 15, 19, 20, 24, 30 min kohdalla tilastollisesti merkitsevä ero tasa1 ja tasa3 välillä (järjestyksessä  $F(2, 42) = 4,32$ ,  $F(2,40) = 3,84$ ,  $F(2, 44) = 4,88$ ,  $F(2, 44) = 3,57$ ,  $F(2, 44) = 3,30$ ,  $F(2, 40) = 4,20$ , kaikilla  $p < 0,05$ ,  $\eta^2 = 0,171$ ,  $0,161$ ,  $0,181$ ,  $0,140$ ,  $0,130$ ,  $0,173$ ). Bonferroni-korjauksen avulla tehdyssä parittaisvertailussa  $VCO_2$ -lasku oli ainoastaan 19 minuutin kohdalla tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,05$ ) ja muiden osalta  $p > 0,05$ .

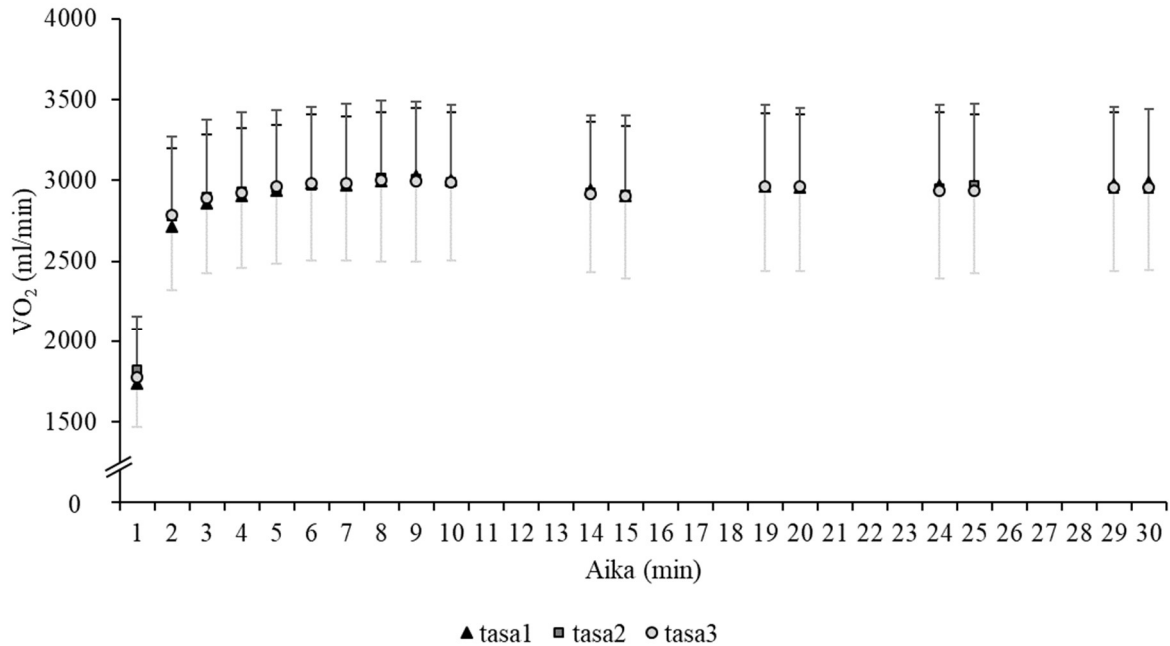


KUVIO 13. Keskiarvosyke eri testiajankohdissa. \* = 1. minuutin kohdalla oli tilastollisesti merkitsevä lasku tasa1 ja tasa3 välillä. Eri mittauspisteissä analysoitujen tutkittavien määrät:  $n_1 = 24$ ,  $n_{2-25} = 25$  ja  $n_{29-30} = 23$ .



KUVIO 14. VCO<sub>2</sub>-pitoisuudet testin aikana eri mittauspisteissä. \* = tilastollisesti merkitsevä lasku tasa1 ja tasa3 välillä. Eri mittauspisteissä analysoitujen tutkittavien määrät:  $n_{1-7} = 24$ ,  $n_{8-10}$  ja  $n_{19-25} = 23$ ,  $n_{14} = 22$ ,  $n_{15}$  ja  $n_{29-30} = 21$ .

VO<sub>2</sub>-arvoissa (kuvio 15) ja ventilaatiossa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja testin aikana. RER-arvoissa oli tilastollisesti merkitsevä ero 15 (Friedman-testi:  $\chi^2(2, n = 20) = 9,333, p < 0,05$ ) ja 19 ( $F(2, 42) = 4,529, p < 0,05, \eta^2 = 0,177$ ) minuutin kohdilla. Bonferroni-korjauksen avulla tehdyn parittaisvertailun avulla nähtiin, että RER laski tilastollisesti merkitsevästi ensimmäisestä tasavauhtisesta kolmanteen ( $p < 0,05$ ) kyseisissä mittauspisteissä. RPE-arvoja tarkasteltaessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja yhdessäkään mittauspisteessä.



KUVIO 15. VO<sub>2</sub>-pitoisuudet testin aikana eri mittauspisteissä. Eri mittauspisteissä analysoitujen tutkittavien määrät:  $n_{1-7} = 23, n_{8-14}$  ja  $n_{19-25} = 22, n_{15}$  ja  $n_{29-30} = 20$ .

Kun tarkastellaan tasavauhtista kuormitusta 10 minuutista 30 minuuttiin, muuttujien keskiarvoissa huomataan pieniä eroja kuormitusten välillä (taulukko 3), mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ( $p > 0,05$ ). Kolmannessa kuormituksessa näyttäisi olevan matalimmat arvot lähes kaikkien muuttujien kohdalla. Muuttujien pitoisuudet laskivat kohti kolmatta kuormitusta.

## 8.2 Yksilölliset muutokset

Variaatiokertoimen (CV) avulla voidaan mitata yksilöllä tapahtuvaa vaihtelua kuormitusten välillä. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty tutkittavien keskiarvoiset CV-arvot eri muuttujille. Huoma-



taan laktaatin CV:n olevan suurin, kun taas sykkeen pienin. Taulukossa 6 on vertailtu CV-arvoja eri parien välillä (tasa1 ja 2, tasa 1 ja 3 ja tasa 2 ja 3). Huomataan laktaattipitoisuuden CV:n olleen suurin tasa2 ja 3 välillä, kun taas muilla muuttujilla CV oli suurin tasa1 ja 3 välillä.

TAULUKKO 3. Eri muuttujien keskiarvot 10 minuutista 30 minuuttiin eri tasavauhtisissa kuormituksissa.

	LA	Syke	VO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> kg	VCO <sub>2</sub>	RER	VE	RPE
	mmol/l	1/min	ml/min	ml/kg/min	ml/min		l/min	6–20
n	23	23	20	20	21	20	24	25
Tasa1	5,2 (1,5)	177 (9,7)	2965 (430)	44,2 (4,32)	3021 (545)	1,02 (0,10)	96 (20)	15,2 (1,26)
Tasa2	5,3 (1,5)	176 (8,9)	2942 (478)	43,9 (4,90)	2976 (550)	1,01 (0,09)	95 (19)	15,0 (1,56)
Tasa3	4,7 (1,1)	175 (9,5)	2940 (500)	43,9 (4,86)	2938 (541)	1,00 (0,07)	95 (18)	14,8 (1,49)

LA, laktaatti; VO<sub>2</sub>, hapenkulutus; VO<sub>2</sub>kg, hapenkulutus painoon suhteutettuna; VCO<sub>2</sub>, hiilidioksidin tuotto; RER, respiratory exchange ratio = hengityksen vaihtosuhte VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>; VE, ventilaatio; RPE, rate of perceived exertion = asteikko kuvaa kuormituksen rasittavuutta; tasa1, ensimmäinen tasavauhtinen kuormitus; tasa2, toinen tasavauhtinen kuormitus; tasa3, kolmas tasavauhtinen kuormitus.

TAULUKKO 4. Tutkittavien keskiarvovariaatiokertoimet (%) laktaatin ja RPE:n osalta.

Aika (min)	lepo	10	15	20	25	30	KA
LA (%)	16,2	12,3	13,5	14,1	13,8	13,3	13,9
RPE (%)		5,4	4,6	5,0	4,1	3,5	4,5

LA, laktaatti; RPE, rate of perceived exertion = asteikko kuvaa kuormituksen rasittavuutta.

TAULUKKO 5. Tutkittavien keskiarvovariaatiokertoimet (%) sykkeen, VO<sub>2</sub>:n, painoon suhteutetun VO<sub>2</sub>-arvon (VO<sub>2</sub>kg), VCO<sub>2</sub>:n, RER-arvon ja VE:n osalta.

Aika (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	14	15	19	20	24	25	29	30	KA
Syke (%)	3,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,3	1,5	1,5
VO <sub>2</sub> (%)	5,2	3,8	2,7	2,8	3,0	2,8	3,1	2,7	3,2	2,7	2,4	2,7	2,9	2,9	3,3	3,2	2,8	2,7	3,1
VO <sub>2</sub> kg (%)	5,4	4,0	2,6	2,9	3,0	2,8	3,1	2,8	3,2	2,8	2,4	2,7	3,0	3,0	3,5	3,2	2,8	2,7	3,1
VCO <sub>2</sub> (%)	6,7	4,7	3,8	3,5	3,3	3,0	3,0	3,1	3,5	3,1	2,6	2,9	2,7	2,4	3,1	3,4	2,5	2,8	3,3
RER (%)	4,2	2,6	2,6	2,5	2,4	2,2	2,6	2,5	2,7	2,2	2,2	2,4	2,3	2,5	2,5	2,1	2,2	2,2	2,5
VE (%)	7,5	5,2	4,0	4,1	3,6	3,5	3,1	4,0	3,6	2,9	3,3	2,9	3,7	3,7	4,4	4,5	4,2	4,0	4,0

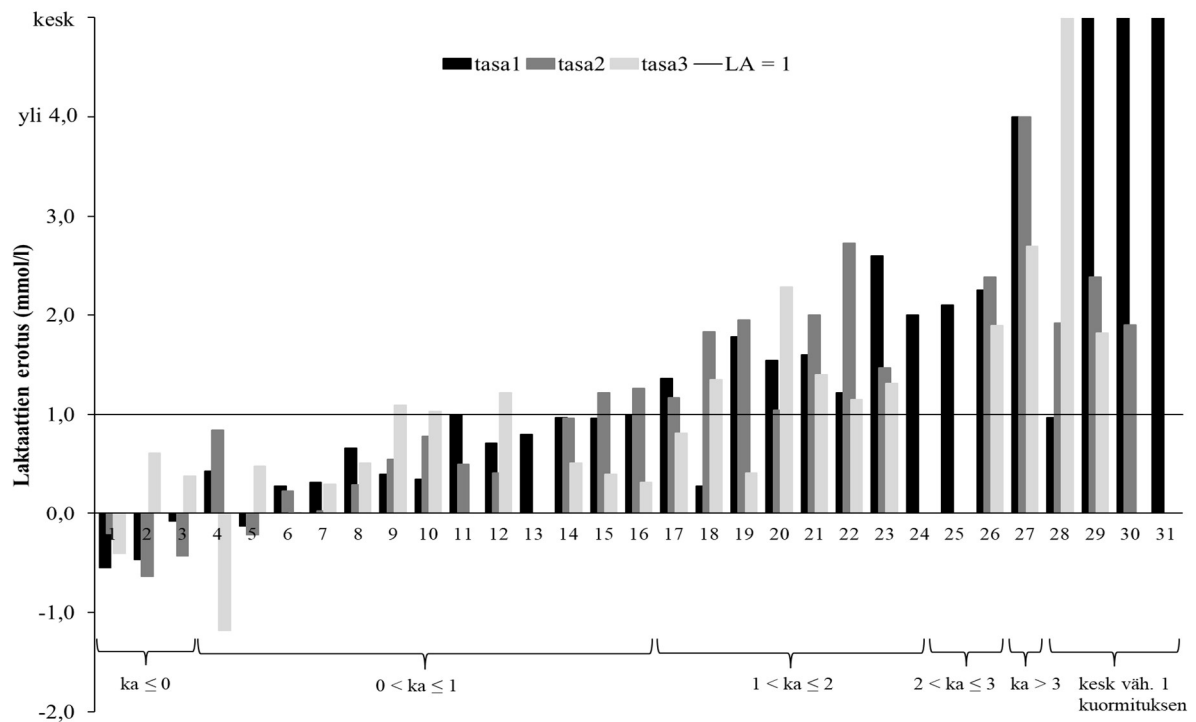
VO<sub>2</sub>, hapenkulutus; VO<sub>2</sub>kg, hapenkulutus painoon suhteutettuna; VCO<sub>2</sub>, hiilidioksidin tuotto; RER, respiratory exchange ratio = hengityksen vaihtosuhte VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>; VE, ventilaatio.

TAULUKKO 6. Eri kuormitusparien CV-arvot eri muuttujille.

CV (%)	LA	Syke	VO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> kg	VCO <sub>2</sub>	RER	VE	RPE
Tasa1 ja 2	10,2	1,3	2,8	3,0	2,9	2,1	3,9	4,3
Tasa1 ja 3	12,2	1,6	3,0	3,2	3,5	2,4	4,0	4,9
Tasa2 ja 3	13,6	1,2	2,2	2,2	2,6	2,2	2,9	2,4

CV, variaatiokerroin; LA, laktaatti; VO<sub>2</sub>, hapenkulutus; VO<sub>2</sub>kg, hapenkulutus painoon suhteutettuna; VCO<sub>2</sub>, hiilidioksidin tuotto; RER, respiratory exchange ratio = hengityksen vaihtosuhte VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>; VE, ventilaatio; RPE, rate of perceived exertion = asteikko kuvaa kuormituksen rasittavuutta; tasa1, ensimmäinen tasavauhtinen kuormitus; tasa2, toinen tasavauhtinen kuormitus; tasa3, kolmas tasavauhtinen kuormitus.

MLSS-työtehoa voidaan tarkastella 10 minuutin ja 30 minuutin laktaatin välisen eron avulla. Kuviossa 16 on esitetty jokainen tutkittava erikseen ja jokaisesta suoritetusta kuormituksesta laktaatin erotusarvo. Tämä erotus vaihteli tutkittavilla eri kuormituskertojen välillä ja kuviossa tutkittavat on järjestetty keskiarvoerotuslaktaatin mukaan. Mukana on myös kuusi tutkimuksen keskeyttäneitä tutkittavaa (numerot 11, 13, 24, 25, 30 ja 31). Laktaatin nousu määrä ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi eri kuormituskertojen välillä ( $p > 0,05$ ).



KUVIO 16. Yksittäisten tutkittavien 10 minuutin ja 30 minuutin laktaatin ero esitettyinä pylväskaaviossa jokaisesta tasavauhtisesta kuormituksesta (tasa1–3). Vaakasuora viiva 1,0 mmol/l kuvastaa MLSS-tason ylärajaa. Kuvion alareunassa on esitetty, kuinka suuri laktaattien erotuksen keskiarvo on kullakin tutkittavalla. Kuviossa on mukana myös tutkimuksen keskeyttäneet henkilöt (heillä vain 1–2 palkkia). Kesk; ei ole jaksanut kuormitusta loppuun; LA, laktaatti.

### 8.3 Anaerobinen kynnyks verrattuna MLSS-tasoon

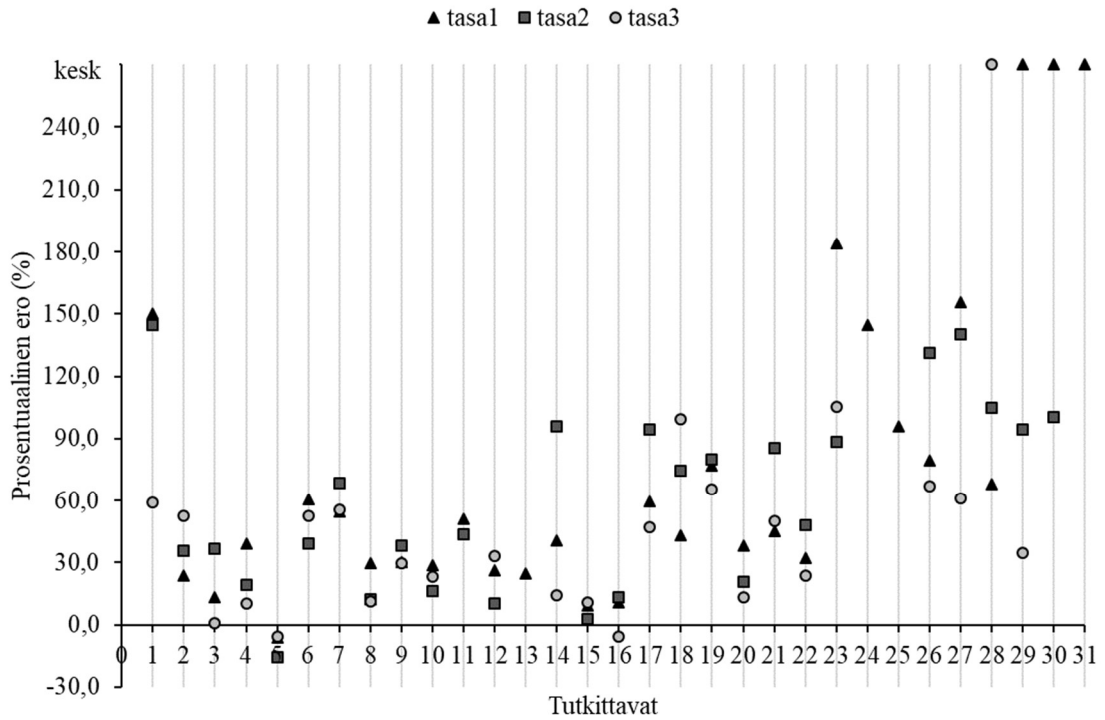
MLSS-vauhtia voidaan arvioida tasavauhtisen kuormituksen 30 minuutin ja 10 minuutin laktaatin erotuksen avulla. Taulukossa 7 on esitettyä prosentuaalisesti tutkittavien jakauma laktaattien erotuksien osalta. 44 % tutkittavista kolmen kuormituksen keskiarvo oli 0–1 mmol/l ja 28 % 1,1 ja 2,0 mmol/l välillä. Kaikkiin kuormituksiin osallistuneista 8 % keskeytti vähintään yhden kuormituksen, koska vauhti oli liian kova.

TAULUKKO 7. Tutkittavien prosentuaalinen jakauma laktaatin 30 minuutin ja 10 minuutin erotuksen suuruuden osalta. 31 tutkittavasta kuusi lopetti tutkimuksen kesken.

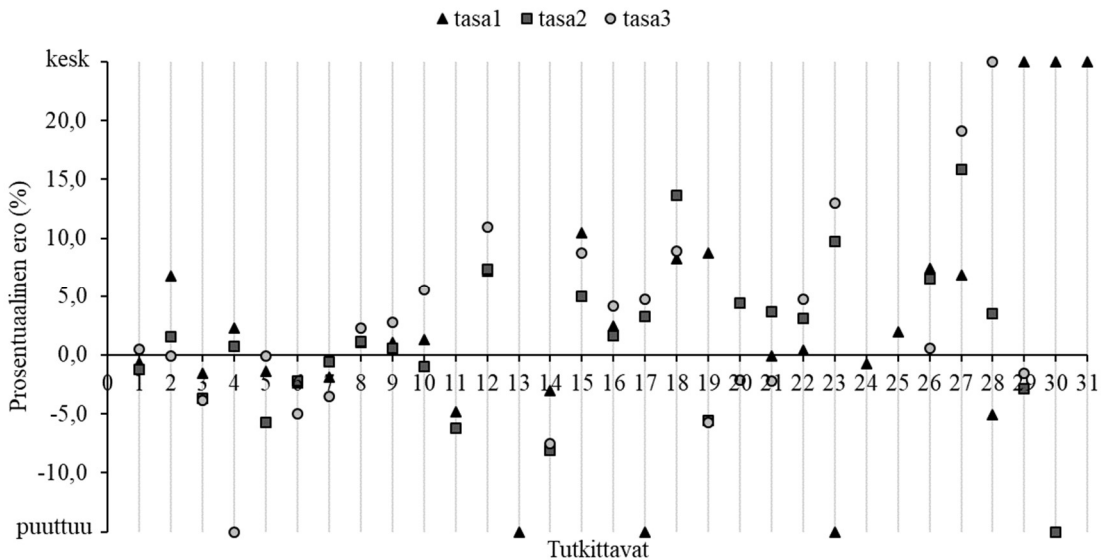
Erotus	n	$E \leq 0$	$0,0 < E \leq 1,0$	$1,0 < E \leq 2,0$	$2,0 < E \leq 3,0$	$E > 3,0$	Kesk
Tasa1	31	12,9	45,2	19,3	9,7	3,2	9,7
Tasa2	27	14,8	37,1	33,3	11,1	3,7	0,0
Tasa3	25	8,0	48,0	32,0	8,0	0,0	4,0
KAerotus	25	12,0	44,0	28,0	4,0	4,0	8,0

E, 30 minuutin ja 10 minuutin laktaatin erotuksen suuruus mmol/l; kesk, keskeyttänyt kuormituksen; KAerotus, kuvastaa kolmen kuormituksen keskiarvoisen erotuksen osalta jakaumaa; tasa1, ensimmäinen tasavauhtinen kuormitus; tasa2, toinen tasavauhtinen kuormitus; tasa3, kolmas tasavauhtinen kuormitus.

Kuviossa 17 on vertailtu anaerobisen kynnyksen laktaattia eri tasavauhtisten kuormitusten keskiarvolaktaattiin prosentuaalisesti (0 % on anaerobisen kynnyksen laktaatin taso). Tasavauhtisten kuormitusten keskiarvolaktaatti oli suurempi kuin anaerobisen kynnyksen lukuun ottamatta tutkittavaa numero 6 ja tutkittavan 16 kolmatta kuormitusta. Ero anaerobisen kynnyksen ja tasavauhtisten kuormitusten laktaatin välillä oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Laktaatin lisäksi vertailtiin anaerobisen kynnyksen hapenkulutusta ja tasavauhtisten kuormitusten keskiarvoista hapenkulutusta 9 minuutista 30 minuuttiin (mittauspisteet 9, 10, 14, 15, 19, 20, 24, 25, 29 ja 30 minuuttia). Kuviossa 18 on esitetty kyseiset arvot samassa järjestyksessä kuin kuvioissa 16 ja 17. Hapenkulutuservoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $p > 0,05$ ).



KUVIO 17. Kuviossa nollataso kuvastaa anaerobisen kynnyksen laktaattitasoa. Tasavauhtisten kuormitusten keskiarvolaktaatin prosentuaalinen ero anaerobiseen kynnykseen on esitettyä jokaiselle tutkittavalle. Kesk, keskeyttänyt kuormituksen.



KUVIO 18. Kuviossa nollataso kuvastaa anaerobisen kynnyksen VO<sub>2</sub>-tasoa. Tasavauhtisten kuormitusten keskiarvohapenkulutuksen prosentuaalinen ero anaerobisen kynnyksen hapenkulutukseen on esitettyä jokaiselle tutkittavalle. Kesk, keskeyttänyt kuormituksen; puuttuu, VO<sub>2</sub>-arvoja puuttuu kuormituksen ajalta.

## 9 POHDINTA

Tutkimuksen päälöydöksenä havaittiin, että tasavauhtisissa kuormituksissa tilastollisesti merkitsevää systemaattista muutosta ei tapahtunut kumpaankaan suuntaan yhdenkään muuttujan kohdalla yksittäisiä mittauspisteitä lukuun ottamatta. Mittauskertojen välinen variaatiokerroin oli suurin laktaatilla ja pienin sykkeellä. Tasavauhtisissa kuormituksissa laktaatin nousu 10 minuutista 30 minuuttiin oli 12 prosentilla tutkittavista alle 0 mmol/l, 44 prosentilla 0–1 mmol/l, 28 prosentilla 1,1–2,0 mmol/l, 8 prosentilla yli 2,0 mmol/l ja 8 prosenttia tutkittavista keskeytti vähintään yhden kuormituksen, koska ei jaksanut juosta määritettyä vauhtia.

Eri muuttujien systemaattista muutosta tarkasteltaessa erot eivät pääosin olleet tilastollisesti merkitseviä. Sykkeessä nähtiin testin ensimmäisen minuutin aikana tilastollisesti merkitsevä lasku ensimmäisestä tasavauhtisesta kolmanteen ja VCO<sub>2</sub>-pitoisuudessa 19 minuutin kohdalla ja RER-arvoissa 15 ja 19 minuutin kohdalla. Näin ollen kyseessä olivat yksittäiset mittauspisteet yksittäisistä muuttujista, joten pääosin tilastollisesti merkitseviä eroja ei ollut eri päivien välillä. Sykkeen osalta voitaneen tulkita, että ensimmäisessä tasavauhtisessa kuormituksessa sympaattisen hermoston suurempi aktivoituminen jännityksen ja hermostuneisuuden myötä ennen testiä on saattanut vaikuttaa testin ensimmäisen minuutin sykkeeseen. Testin tutuksi tulemisen myötä kahdessa jälkimmäisessä kuormituksessa testin alun sykkeet eivät olleet enää niin korkeat.

Hiilidioksidin tuottoon ja täten myös RER-arvoon vaikuttavat pääasiallisesti energiantuotossa käytetty ravintoaine (tapahtuuko tuotto pääosin hiilihydraateista, rasvoista vai proteiineista), anaerobisen energiantuoton määrä ja syntyneiden vetyionien puskurointi bikarbonaatti-ionien avulla (McArdle ym. 2015, 186–189). Näin ollen arvojen laskuun voi liittyä esimerkiksi vähentynyt anaerobinen energiantuotto ja täten pienentynyt tarve vetyionien puskuroinnille. Laktaattipitoisuudessa suunta oli sama eli laktaattipitoisuus oli alempana kolmannessa tasavauhtisessa kuormituksessa (kuvio 12), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Karkeasti arvioiden voisi siis päätellä, että kuormitus on ollut mahdollisesti hieman kevyempi kolmannessa tasavauhtisessa kuormituksessa ja hapen avulla tapahtuva energiantuotto on riittänyt paremmin energiantarpeeseen. Vahvojen johtopäätösten tekeminen kyseisten tulosten perusteella ei kuitenkaan ole mahdollista.

Variaatiokertoimia tarkasteltaessa huomataan, että laktaatin CV (KA = 13,9 %) on huomattavasti suurempi koko testin ajan kuin muiden mitattujen muuttujien. Pienin CV on sykkeellä (KA = 1,5 %) ja muut muuttujat (RER, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, VE ja RPE) olivat 2,5 ja 4,5 prosentin välillä. Näin ollen laktaattipitoisuudet vaihtelevat yksilöllä enemmän ja syke on mitatuista muuttujista luotettavin. Tulokset ovat pääosin linjassa aiempien tutkimusten kanssa (Hauser ym. 2013; Faude ym. 2017). Ainoastaan ventilaation CV jäi alhaisemmaksi kuin Faude ym. (2017) pyöräilytutkimuksessa. Bagger ym. (2003) suosittelee sykkeen, RER:n ja VO<sub>2</sub>:n käyttöä harjoittelun aiheuttamien muutosten seurannassa, koska kyseisten muuttujien kriittinen ero (critical difference) on pieni.

Kun vertaillaan CV-arvoja eri kuormitusparien välillä (taulukko 6) huomataan, että suurimmillaan se on tasa1 ja 3 parin välillä kaikilla muuttujilla paitsi laktaatilla (laktaatilla tasa2 ja 3). Tasa2 ja 3 parin CV on yleisesti ottaen pienin, joten voi olla, että pientä tottumista tai oppimista kuormitukseen on tapahtunut tasa1 jälkeen. Laktaatti käyttäytyy eri tavoin kuin muut muuttujat, joten on kuitenkin vaikea tehdä yleistyksiä näiden tulosten pohjalta.

Tutkimuksessa pyrittiin tarkastelemaan myös K-Lab-määritysmenetelmän toimivuutta kynnysmäärityksessä. Kuten kuvioista 16 nähdään, laktaatin nousun määrässä tasavauhtisten kuormitusten aikana oli aika paljon hajontaa niin tutkittavien välillä kuin samalla tutkittavalla eri testikertojen välillä. Osalla tutkittavista laktaatin nousun määrä vaihteli eri testikerroilla siten, että esimerkiksi yhdellä kerralla laktaatin nousu oli suhteellisen hallinnassa ollen alle 1 mmol/l, mutta muilla kerroilla nousu meni yli tämän rajan. Näin ollen yhden testikerran perusteella voidaan tehdä virheellisiä johtopäätöksiä kynnystason suhteen, jos MLSS-tasoa pidetään tiukasti 1 mmol/l rajaa. On siis hyvä kuunnella myös urheilijan omaa tuntemusta ja opettaa myös urheilijaa kuuntelemaan omia tuntemuksiaan. Toisaalta, anaerobisen kynnyksen määrityksessä voi käyttää myös testaajan subjektiivista näkemystä mukana, jotta kynnyks saadaan maksimitestin laktaattien perusteella mahdollisimman oikealle kohdalle. Tässä tutkimuksessa kolmen kuormituksen keskiarvoinen nousu tasavauhtisten kuormitusten aikana oli 44 prosentilla 0–1 mmol/l, 44 prosentilla yli 1 mmol/l ja 12 prosentilla laktaatti laski kuormitusten aikana. Suurimmalla osalla nousu osui kuitenkin 0–2 mmol/l väliin (72 prosenttia).

Tutkimuksen perusteella voidaankin pohtia, onko 1 mmol/l nousun raja validi määrittämään anaerobisen kynnyksen tasoa. Toimiiko se jokaisella henkilöllä vai nouseeko jollakin laktaatti

luonnostaan enemmän, vaikka vauhti olisikin MLSS-tasolla. Esimerkiksi yksilöllä, jolla laktaattipitoisuus on luonnostaan korkea, onko järkevää asettaa nousun määrään sama raja kuin yksilölle, jolla laktaattipitoisuudet ovat alhaisemmat. Tai toisaalta, päteekö raja kaikille riippumatta esimerkiksi harjoitustaustasta. Jos ei ole koskaan aiemmin esimerkiksi tehnyt suhteellisen kovatehoista pidempikestoista kuormitusta, voidaanko raja asettaa samalle tasolle kuin ihmiselle, joka viikoittain tekee vastaavia kuormituksia. Rajan häilyvyyttä voi tarkastella myös laktaatin variaatiokertoimen näkökulmasta, joka tutkimuksessa oli 13,9 prosenttia. Kyseinen variaatio täytyy ottaa huomioon MLSS-vauhtia määritettäessä.

Kun verrataan anaerobisella kynnyksellä mitattua laktaattipitoisuutta ja hapenkulutusta tasavauhtisten kuormitusten keskiarvoihin, huomataan, että laktaattipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kynnyksellä, kun taas  $VO_2$ -arvoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Syynä tähän voi olla yksinkertaisesti se, että hapenkulutuksen osalta ollaan kynnyksellä prosentuaalisesti jo lähempänä maksimia kuin mitä laktaattipitoisuus. Hapenkulutus ei oikeastaan nouse MLSS-kuormituksessa testin ensimmäisen 10 minuutin jälkeen ja myös esimerkiksi Faude ym. (2017) tutkimuksessa kuormituksen keskiarvo  $VO_{2max}$  ja lopun  $VO_{2max}$  olivat samaa luokkaa. Tutkimuksessa monella vauhti oli mahdollisesti yli kynnysvauhdin tai ainakin ylärajoilla, joten laktaattipitoisuudessa oli enemmän varaa nousta korkeammalle. Olisi mielenkiintoista määrittää kynnys K-Lab-menetelmällä ja tämän jälkeen määrittää myös MLSS-teho muutaman kuormituksen avulla ja verrata, onko niissä tilastollisesti merkitsevää eroa vai ei. Myös vertailu eri lajien (esimerkiksi pyöräily, juoksu ja sauvakävely) välillä olisi hyvä tehdä ja katsoa lajin vaikutus kynnysmäärittämiseen. Nyt johtopäätösten tekeminen on vaikeaa, koska tutkimuksen päätarkoitus oli katsoa toistettavuutta eli jokainen tasavauhtinen tehtiin samalla nopeudella, nousi laktaatti ensimmäisessä tai ei.

Juosten tehtävissä tutkimuksissa ja testeissä vaaditaan yleisesti lyhyt tauko laktaatin ottamiseksi. Tässäkin tutkimuksessa niin maksimitestissä kuin tasavauhtisissa kuormituksissa laktaatin oton ajaksi juoksumatto pysäytettiin. Beneke ym. (2003) on tutkinut tauon vaikutuksia niin laktaattipitoisuuksiin kuin testin fyysiseen rasittavuuteenkin. Heidän pyöräilytutkimuksensa perusteella 30 ja 90 sekunnin tauot laktaatinotossa verrattuna tauottomaan kuormitukseen alensivat kuormituksen rasittavuutta ja nostivat arvioitua MLSS-tehoa niin absoluuttisesti kuin suhteellisestikin.  $MLSS_{1a}$ :n osalta ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta laktaattien erotus 30 ja 10 minuutin välillä oli korkeampi kuormituksessa ilman taukoja. Laktaatti pyrittiin

ottamaan tässä kuormituksessa alle 30 sekuntiin, mutta silti lyhyenkään tauon vaikutusta tuloksiin ei voida sivuuttaa. Vaikutusta anaerobisen kynnyksen ja tasavauhtisten kuormituksen eroihin ei voida suoraan sanoa, mutta maksimitesti oli myös tauotettu. Näin ollen molemmissa kuormitustyypeissä oli taukoja ja kuviota 16 katsottaessa kynnysvauhti oli ennemminkin liian korkea kuin liian matala tasavauhtisten kuormitusten perusteella. Tauon pituutta ei myöskään vakioitu täysin samaksi testien aikana, joten maksimissaan laktaattitaukojen ero saattoi olla noin 20 sekuntia. Jotta vaikutus tuloksiin olisi ollut mahdollisimman pieni MLSS-kuormituksissa, analysoitiin muuttujat testin alusta ja vain kaksi minuuttia ennen näytteenottoa olleista minuuteista (1–10, 14, 15, 19, 20, 24, 25, 29 ja 30 minuutin kohdilta).

Laktaattipitoisuus veressä tasavauhtisten kuormitusten aikana nousi yli 1 mmol/l 44 prosentilla tutkittavista (yli MLSS-ajan), vaikka tasavauhtiset kuormitukset olivat tauotettuja. Maksimitestin kesto oli erilainen tutkittavilla riippuen aloitusvauhdin osuvuudesta, mutta 30 ja 10 minuutin laktaattierotuksen ja maksimitestin keston välillä ei ollut vahvaa korrelaatiota ( $r = 0,215$ ). Myöskään  $VO_2\max$ -testin maksiminopeuden ja laktaatin nousun määrän välillä ei ollut korrelaatiota ( $r < 0,100$ ). Näin ollen testaajan subjektiivista näkemystä voi olla hyvä edelleen käyttää kynnyksiä analysoitaessa urheilijoille ja heille harjoitusohjeita annettaessa.

Toistettavuustutkimuksessa on tärkeää huomioida oppimisefekti testien välillä. Jeukendrup ym. (1996) ja Faude ym. (2017) ovat todenneet pyöräilytutkimuksissaan, että tulokset ovat toistettavampia, jos testin loppumisaika on tiedossa kuin että suoritettaisiin uupumukseen asti. Tässä tutkimuksessa suoritus aika tasavauhtisissa kuormituksissa oli tiedossa (30 minuuttia) ja tutkitavat saivat myös tietoa ajan kulumisesta testin aikana. Näin ollen suorituskyvyn vaihtelun voisi olettaa olevan pientä testien välillä. Harjoituskuormituksen tekeminen voisi olla yksi oppimista pienentävä tekijä, mutta kokeneilla urheilijoilla tämän ei ole todettu vaikuttavan tuloksiin (Jeukendrup ym. 1996). Kuitenkin heikomman harjoitustaustan omaavilla se olisi voinut olla tarpeellinen vielä luotettavampien tulosten saamiseksi (Smekal ym. 2012). Vähemmän harjoitelleilla tutkittavilla harjoittelussa ei välttämättä tule usein niin kovatehoisia kuormituksia kuin mitä tutkimuksessa tehtiin.

Jokainen testisuoritus suoritettiin samaan aikaan vuorokaudesta ( $\pm 2$  h) (Dittrich ym. 2013), joten vuorokauden sisällä tapahtuvat vaihtelut esimerkiksi kehon lämpötilassa ja suorituskyvyssä eivät vaikuttaneet tuloksiin. Myös tutkittavien painon vaihtelu tarkastettiin ja todettiin



olevan riittävän pientä testikertojen välillä. Varsinkin tutkimuksissa, joissa sykettä käytetään mittaussparametrinä, painon kontrolloinnin on todettu olevan tarpeellista (Lamberts ym. 2004). Testitilan lämpötilaa tarkkailtiin ja se kirjattiin ylös pysyen suhteellisen muuttumattomana koko tutkimuksen ajan (18,6–21,4 °C) (Laplaud ym. 2006; de Barros ym. 2011). Suurin yksittäinen ero yhdellä tutkittavalla testipäivien välillä oli 1,5 °C.

Tutkittavia pyydettiin välttämään raskastehoista harjoittelua vuorokausi ennen testejä ja sovitamaan harjoittelu muutenkin siten, että olisi mahdollisimman palautuneessa tilassa ennen jokaista testiä. Myös ravitsemuksen osalta pyydettiin noudattamaan mahdollisuuksien mukaan samanlaista ruokavaliota ennen jokaista testikertaa, jotta energiansaanti olisi ollut mahdollisimman samanlaista ennen testisuorituksia. Oikeanlainen ravinto ja nestetasapaino on tärkeää kestävyysuorituskyvyn kannalta ja varsinkin hiilihydraatit ovat tärkeässä roolissa kovatehoisessa suorituksessa (Pate & Branch 1992).

Tutkimuksen tuloksiin saattoi vaikuttaa laitteistojen toiminta. Hengityskaasuanalysointorin toiminnassa oli systemaattinen virhe hapenkulutuksessa yhden testivuorokauden ajan, mutta kyseisen päivän tutkittavien hapenkulutuserot saatiin korjattua korjauskertoimella. Hengityskaasuanalysointorissa tuli myös muutamia yksittäisiä pudotuksia hapenkulutuksessa kesken testien, mutta nämä arvot on poistettu analysoitavasta datasta, ja tämän takia osalta tutkittavista puuttuu arvoja osasta mittauspisteistä. Laktaattianalysointorin antamissa laktaattiarvoissa oli muutamana testipäivänä häiriötä sen antaessa oikeita arvoja alhaisempia lukemia. Tämä vaikutti pääosin maksimitestin laktaatteihin, mutta kynnyksvauhdit saatiin analysoitua tästä huolimatta, koska kynnysmääritys perustui käyrän muotoon eikä absoluuttisiin arvoihin. Näiden tutkittavien osalta analysoinneissa tehtiin myös korjaus anaerobisen kynnyksen laktaattipitoisuuteen. Ei voida kiistää, etteikö näillä ongelmilla olisi voinut olla pientä vaikutusta tuloksiin.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan todeta, että syke ja hengitysmuuttujat ovat parhaiten toistettavia tämän tyyppisessä kovatehoisessa kuormituksessa. Laktaatin osalta hajonta oli suurinta testien välillä, vaikka se on yleisesti käytetty muuttuja testauksessa ja harjoittelujakson onnistumisen analysoimisessa (Beneke ym. 2003). Laktaattipitoisuuden mittaaminen on kuitenkin helppoa käytännön testaamisessa (Morton ym. 2012), mikä selittää osaltaan sen suurta käyttöä. Tärkeää kuitenkin olisi, että laktaattiarvoja ja -käyriä tulkitsee alan ammattilainen ja

hänellä täytyisi olla riittävästi tietoa esimerkiksi urheilijan harjoittelusta. Lisää tutkimusta tarvitaan niin 1 mmol/l nousun rajan soveltuvuudesta kaikille MLSS-työtehon määrittämisessä kuin MLSS:n ja K-Labilla määritetyn kynnyksen välisen yhteyden osalta.

## 10 KÄYTÄNNÖN SOVELLUTUKSET

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että sykkeen ja hengitysmuuttujien toistettavuus oli parhaimmalla tasolla. Laktaattipitoisuuden osalta niin absoluuttinen pitoisuus kuin laktaattipitoisuudessa tapahtuvat muutoksetkin voivat vaihdella päivien välillä, vaikka varsinaista kehitystä tai suorituskyvyn alenemista ei olisikaan tapahtunut. Tämä on hyvä huomioida, kun kyseisiä muuttujia käytetään suorituskyvyn testauksessa ja mahdollisesti harjoituksissa.

Monesti näkee, että urheilijat tai kuntoilijat käyvät testauttamassa itseään liian harvoin tai aivan irrallaan harjoittelusta. Tutkimuksen perustella voisi sanoa, että suorituskyky vaihtelee testien välillä ja yhden testin tulokset voivat olla vinoutuneita johonkin suuntaan. Varsinkin jos testajalla ei ole riittävästä taustatietoa tutkittavan harjoittelustaustasta ja harjoituskauden etenemisestä, voi tulosten oikeanlainen tulkinta olla haastavaa. Näin ollen suositeltavaa olisi yrittää sulauttaa testaaminen osaksi harjoittelua ja tehdä valikoituja testisuoritteita, jotka on helppo tehdä harjoituksissa laajempien testiasemilla tehtävien testisuoritusten lisäksi.

## LÄHTEET

- Aagaard, P. & Andersen, J. L. 2010. Effects of Strength Training on Endurance Capacity in Top-Level Endurance Athletes. Review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 20 (2), 39–47.
- Adam, J., Öhmichen, M., Öhmichen, E., Rother, J., Müller, U. M., Hauser, T. & Schulz, H. 2015. Reliability of the Calculated Maximal Lactate Steady State in Amateur Cyclists. *Biology of Sport* 32 (2), 97–102.
- Bagger, M., Peterson, P. H. & Pedersen, P. K. 2003. Biological Variation in Variables Associated with Exercise Training. *International Journal of Sports Medicine* 24 (6), 433–440.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. 2015. Strategies to Improve Running Economy. Review. *Sports Medicine* 45 (1), 37–56.
- Baron, B., Noakes, T. D., Deckerle, J., Moullan, F., Robin, S., Matran, R. & Pelayo, P. 2008. Why Does Exercise Terminate at the Maximal Lactate Steady State Intensity? *British Journal of Sports Medicine* 42 (10), 828–833.
- 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.
- Bassett, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting Factors for Maximum Oxygen Uptake and Determinants of Endurance Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (1), 70–84.
- 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.
- Beneke, R. 2003. Methodological Aspects of Maximal Lactate Steady State – Implications for Performance Testing. *European Journal of Applied Physiology* 89 (1), 95–99.
- Beneke, R. & von Duvillard, S. P. 1996. Determination of Maximal Lactate Steady State Response in Selected Sports Events. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (2), 241–246.
- 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 and Science in Sports and Exercise* 35 (9), 1626–1630.

- 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.
- 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.
- Billat, V. L. 1996. Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. *Sports Medicine* 22 (3), 157–175.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Lepretre, P-M. & Koralsztein, J. P. 2004. Training Effect on Performance, Substrate Balance and Blood Lactate Concentration at Maximal Lactate Steady State in Master Endurance Runners. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* 447 (6), 875–883.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J-P. & Mercier, J. 2003. The Concept of Maximal Lactate Steady State: A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Medicine* 33 (6), 407–426.
- Bishop, D., Jenkins, D. G. & Mackinnon, L. T. 1998. The Relationship Between Plasma Lactate Parameters,  $W_{peak}$  and 1-h Cycling Performance in Woman. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (8), 1270–1275.
- Blagrove, R. C., Howatson, G. & Hayes, P. R. 2018. Effects of Strength Training on the Physiological Determinants of Middle- and Long-Distance Running Performance: A Systematic Review. *Sports Medicine* 48 (5), 1117–1149.
- Bland, J. M. & Altman, D. G. 1986. Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. *Lancet* 327 (8476), 307–310.
- Bosquet, L., Léger, L. & Legros, P. 2002. Methods to Determine Aerobic Performance. *Sports Medicine* 32 (11), 675–700.
- Cerezuela-Espejo, V., Courel-Ibañez, 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  $D_{max}$  Method for Calculating the Second Lactate Threshold. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10 (7), 921–926.
- 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.

- Davis, H. A. & Gass, G. C. 1981. The Anaerobic Threshold as Determined Before and During Lactic Acidosis. *European Journal of Applied Physiology* 47 (2), 141–149.
- Davis, H. A., Bassett, J., Hughes, P. & Gass, G. C. 1983. Anaerobic Threshold and Lactate Turnpoint. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50 (3), 383–392.
- Denadai, B. S., Figueira, T. R., Favaro, O. R. & Conçaves, 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.
- Dittrich, N., de Lucas, R. D., Beneke, R. & Guglielmo, L. G. A. 2014. Time to Exhaustion at Continuous and Intermittent Maximal Lactate Steady State During Running Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9 (5), 772–776.
- Dittrich, N., de Lucas, R. D., Maioral, M. F., Diefenthaler, F. & Guglielmo, L. G. 2013. Continuous and Intermittent Running to Exhaustion at Maximal Lactate Steady State: Neuromuscular, Biochemical and Endocrinal Responses. *Journal of Science and Medicine in Sport* 16 (6), 545–549.
- Easthope, C. S., Nosaka, K., Caillaud, C., Vercauysen, F., Louis, J. & Brisswalter, J. 2014. Reproducibility of Performance and Fatigue in Train Running. *Journal of Science and Medicine in Sport* 17 (2), 207–211.
- 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.
- Fabre, N., Mourot, L., Zerbini, L., Pellegrini, B., Bortolan, L. & Schena, F. 2013. A Novel Approach for Lactate Threshold Assessment Based on Rating of Perceived Exertion. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8 (3), 263–270.
- Faude, O., Hecksteden, A., Hammes, D., Schumacher, F., Besenius, E., Sperlich, B. & Meyer, T. 2017. Reliability of Time-to-Exhaustion and Selected Psycho-Physiological Variables During Constant-Load Cycling at the Maximal Lactate Steady-State. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 42 (2), 142–147.
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. 2009. Lactate Threshold Concepts – How Valid Are They? Review. *Sports Medicine* 39 (6), 469–490.
- 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.

- Fontana, P., Boutellier, U. & Knöpfli-Lenzin, C. 2009. Time to Exhaustion at Maximal Lactate Steady State Is Similar for Cycling and Running in Moderately Trained Subjects. *European Journal of Applied Physiology* 107 (2), 187–192.
- Forsyth, J. J. & Reilly, T. 2005. The Combined Effect of Time of Day and Menstrual Cycle on Lactate Threshold. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37 (12), 2046–2053.
- Gastin, P. B. 2001. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine* 31 (10), 725–741.
- Gavin, J. P., Willems, M. E. T. & Myers, S. D. 2014. Reproducibility of Lactate Markers During 4 and 8 min Stage Incremental Running: A Pilot Study. *Journal of Science and Medicine in Sport* 17 (6), 635–639.
- Gladden, L. B. 2004. Lactate Metabolism: A New Paradigm for the Third Millennium. *The Journal of Physiology* 558 (1), 5–30.
- Grant, S., McMillan, K., Newell, J., Wood, L., Keatley, S., Simpson, D., Leslie, K. & Fairlie-Clark, S. 2002. Reproducibility of the Blood Lactate Threshold, 4 mmol·l<sup>-1</sup> Marker, Heart Rate and Ratings of Perceived Exertion During Incremental Treadmill Exercise in Humans. *European Journal of Applied Physiology* 87 (2), 159–166.
- Greco, C. C., Caritá, R. A. C., Dekerle, 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.
- 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.
- Hauser, T., Adam, J. & Schulz, H. 2014a. Comparison of Selected Lactate Threshold Parameters with Maximal Lactate Steady State in Cycling. *International Journal of Sports Medicine* 35 (6), 517–521.
- Hauser, T., Adam, J. & Schulz, H. 2014b. Comparison of Calculated and Experimental Power in Maximal Lactate-Steady State During Cycling. *Theoretical Biology and Medical Modelling* 11 (25). DOI: 10.1186/1742-4682-11-25.
- Hauser, T., Bartsch, L., Baumgärtel, H. & Schulz, H. 2013. Reliability of Maximal Lactate-Steady-State. *International Journal of Sports Medicine* 34 (3), 196–199.
- Hébert-Losier, K., Platt, S. & Hopkins, W. G. 2015. Sources of Variability in Performance Times at the World Orienteering Championships. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 47 (7), 1523–1530.

- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R. & Hollmann, W. 1985. Justification of the 4 mmol/l Lactate Threshold. *International Journal of Sports Medicine* 6 (3), 117–130.
- 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 (Public Library of Science)* 13 (11), e0206846. DOI: 10.1371/journal.pone.0206846.
- Hoefelmann, C. P., Diefenthaler, F., Costa, V. P., de Lucas, R. D., Shambrook, P. & Guglielmo, L. G. A. 2014. Test-Retest Reliability of Second Lactate Turnpoint Using Two Different Criteria in Competitive Cyclists. *European Journal of Sport Science* 15 (4), 265–270.
- Hopkins, W. G. 2000. Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Current Opinion. Sports Medicine* 30 (1), 1–15.
- Hopkins, W. G. & Hewson, D. J. 2001. Variability of Competitive Performance of Distance Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (9), 1588–1592.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A. & Burke, L. M. 1999. Design and Analysis of Research on Sport Performance Enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (3), 472–485.
- 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 and Science in Sports* 28 (12), 2481–2493.
- Janeba, M., Yaeger, D., White, R. & Stavrianeas, S. 2010. The Dmax Method Does Not Produce a Valid Estimate of the Lactate Threshold. *Journal of Exercise Physiology Online* 13 (4), 50–57.
- Jeukendrup, A., Saris, W. H. M., Brouns, F. & Kester, A. D. M. 1996. A New Validated Endurance Performance Test. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (2), 266–270.
- Jones, A. M. & Carter, H. 2000. The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness. *Leading Article. Sports Medicine* 29 (6), 373–386.
- Jones, A. M. & Doust, J. H. 1996. A 1 % Treadmill Grade Most Accurately Reflects the Energetic Cost of Outdoor Running. *Journal of Sports Sciences* 14 (4), 321–327.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. 2008. Endurance Exercise Performance: The Physiology of Champions. *The Journal of Physiology* 586 (1), 35–44.



- Julian, R., Hecksteden, A., Fullagar, H. H. & Meyer, T. 2017. The Effects of Menstrual Cycle Phase on Physical Performance in Female Soccer Players. *PLoS One (Public Library of Science)* 12 (3), e0173951. DOI: 10.1371/journal.pone.0173951.
- Kainlauri, V. 2017. Anaerobisen kynnysarjoituksen päiväkohtainen vaihtelu ja kuntotason vaikutus vaihtelun määrään. Jyväskylän yliopisto. Liikuntatieteiden laitos. Kandidaatintutkielma. Viitattu 4.10.2018. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/54475>.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H. & Costill, D. L. 2012. *Physiology of Sports and Exercise*. 5. painos. Champaign: Human Kinetics.
- Khosla, T. & Billewicz, W. Z. 1964. Measurement of Change in Body-Weight. *The British Journal of Nutrition* 18, 227–239.
- Knoepfli-Lenzin, C. & Boutellier, U. 2011. Lactate Minimum is Valid to Estimate Maximal Lactate Steady State in Moderately and Highly Trained Subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (5), 1355–1359.
- Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H. & Hofman, G. 2003. Effects of Stage Duration in Incremental Running Tests on Physiological Variables. *International Journal of Sports Medicine* 24 (7), 486–491.
- Lamberts, R. P. & Lambert, M. I. 2009. Day-to-day Variation in Heart Rate at Different Levels of Submaximal Exertion: Implications for Monitoring Training. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (3), 1005–1010.
- Lamberts, R. P., Lemmink, K. A. P. M., Durandt, J. J. & Lambert, M. I. 2004. Variation in Heart Rate During Submaximal Exercise: Implications for Monitoring Training. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 18 (3), 641–645.
- Laplaud, D. & Menier, R. 2003. Reproducibility of the Instant of Equality of Pulmonary Gas Exchange and Its Physiological Significance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 43 (4), 437–443.
- 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.
- Leti, T., Mendelson, M., Laplaud, D. & Flore, P. 2012. Prediction of Maximal Lactate Steady State in Runners with an Incremental Test on the Field. *Journal of Sports Sciences* 30 (6), 609–616.
- Marschall, F., Ferger, K. & Mueller, H. 2014. Biological Variability in Submaximal Parameters of Performance and Strain. *Journal of Exercise Physiology Online* 17 (4), 102–112.

- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*. 8. painos (international). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- McNaughton, L. R., Roberts, S. & Bentley, D. J. 2006. The Relationship Among Peak Power Output, Lactate Threshold, and Short-Distance Cycling Performance: Effects of Incremental Exercise Test Design. *Journal of Strength and Conditioning Research* 20 (1), 157–161.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. & Jones, A. M. 2007. Training to Enhance the Physiological Determinants of Long-Distance Running Performance. Review. *Sports Medicine* 37 (10), 857–880.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. 2011. Effect of Resistance Training Regimens on Treadmill Running and Neuromuscular Performance in Recreational Endurance Runners. *Journal of Sports Sciences* 29 (13), 1359–1371.
- Moore, I. S. 2016. Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports Medicine* 46 (6), 793–807.
- Morgan, D. W., Bransford, D. R., Costill, D. L., Daniels, J. T., Howley, E. T. & Krahenbuhl, G. S. 1995. Variation in the Aerobic Demand of Running among Trained and Untrained Subjects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (3), 404–409.
- 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.
- Moxnes, J. F. & Sandbakk, Ø. 2012. The Kinetics of Lactate Production and removal During Whole-Body Exercise. *Theoretical Biology & Medical Modelling* 9 (7). DOI: 10.1186/1742-4682-9-7.
- Newell, J., McMillan, K., Grant, S. & McCabe, G. 2006. Using Functional Data Analysis to Summarise and Interpret Lactate Curves. *Computers in Biology and Medicine* 36 (3), 262–275.
- Nikooie, R. 2016. Determination of Anaerobic Threshold by Monitoring the O<sub>2</sub> Pulse Changes in Endurance Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (6), 1700–1707.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H. & Schall, R. 1990. Peak Treadmill Running Velocity During the VO<sub>2</sub>max Test Predicts Running Performance. *Journal of Sports Sciences* 8 (1), 35–45.

- Nummela, A. 2007. Energia-aineenvaihdunta ja kuormitus. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen & K. Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. 2. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 97–126.
- Nummela, A. 2010a. Kestävyyssuorituskykyä selittävät tekijät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. 2. uudistettu painos. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu 161, 51–59.
- Nummela, A. 2010b. 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. 2015. K-Lab –suora maksimitesti. Luento. LBIA024 Testaaminen urheiluvalmennuksessa ja kuntoilussa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos.
- Nummela, A. & Hynynen, E. 2017. Suullinen tiedonanto. 30.3.2017, Jyväskylä.
- Nummela, A. & Peltonen, J. 2018. Suorat testit. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi ja oppikirja kuntotestaajille*. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu 174, 79–101.
- Nummela, A., Keränen, T. & Mikkelsen, L. O. 2007. Factors Related to Top Running Speed and Economy. *International Journal of Sports Medicine* 28 (8), 655–661.
- Oliveira, R. B., Myers, J., Araújo, C. G. S., Abella, J., Mandic, S. & Froelicher, V. 2009. Maximal Exercise Oxygen Pulse as a Predictor of Mortality among Male Veterans Referred for Exercise Testing. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* 16 (3), 358–364.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A. & Rusko, H. 1999. Explosive-Strength Training Improves 5-km Running Time by Improving Running Economy and Muscle Power. *Journal of Applied Physiology* 86 (5), 1527–1533.
- 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 (Public Library of Science)* 11 (9), e0163389. DOI: 10.1371/journal.pone.0163389.
- Pate, R. R. & Branch, J. H. 1992. Training for Endurance Sport. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 24 (9), 340–343.
- Peltonen, J. & Nummela, A. 2018. Kestävyyden fysiologiset perusteet. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi ja oppikirja kuntotestaajille*. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu 174, 64–78.

- Peserico, C. S., Zagatto, A. M. & Machado, F. A. 2015. Evaluation of the Best-designed Graded Exercise Test to Assess Peak Treadmill Speed. *International Journal of Sports Medicine* 36 (9), 729–734.
- Ribeiro, L. F. P., Gonçalves, C. G. S., Kater, D. P., Lima, M. C. & Gobatto, C. A. 2009. Influence of Recovery Manipulation after Hyperlactemia Induction on the Lactate Minimum Intensity. *European Journal of Applied Physiology* 105 (2), 159–165.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2014. Optimizing Strength Training for Running and Cycling Endurance Performance: A Review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 24 (4), 603–612.
- Sahlin, K., Tonkonogi, M. & Söderlund, K. 1998. Energy Supply and Muscle Fatigue in Humans. *Acta Physiologica Scandinavica* 162 (3), 261–266.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. & Hawley, J. A. 2004. Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. Review. *Sports Medicine* 34 (7), 465–485.
- 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 and Medicine* 25 (6), 403–408.
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Pokan, R., Hofmann, P., Braun, W. A., Arciero, P. J., Tschann, H., Wonisch, M., Baron, R. & 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.
- Smith, C. G. M. & 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.
- Solberg, G., Robstad, B., Skjøsberg, O. H. & Borchsenius, F. 2005. Respiratory Gas Exchange Indices for Estimating the Anaerobic Threshold. *Journal of Sports Science and Medicine* 4 (1), 29–36.
- De Souza Silveira, R., Carlsohn, A., Langen, G., Mayer, F. & Scharhag-Rosenberger, F. 2016. Reliability and Day-to-day Variability of Peak Fat Oxidation During Treadmill Ergometry. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 13 (4). DOI: 10.1186/s12970-016-0115-1.
- Spencer, M., Losnegard, T., Hallén, J. & Hopkins, W. G. 2014. Variability and Predictability of Performance Times of Elite Cross-Country Skiers. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 9 (1), 5–11.

- Stallknecht, B., Vissing, J. & Galbo, H. 1998. Lactate Production and Clearance in Exercise. Effect of Training. A Mini-Review. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 8 (3), 127–131.
- Stegmann, H., Kindermann, W. & Schnabel, A. 1981. Lactate Kinetics and Individual Anaerobic Threshold. *International Journal of Sport Medicine* 2 (3), 160–165.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., Gitonga, D., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. 2010. Strength Training in Endurance Runners. *International Journal of Sports Medicine* 31 (7), 468–476.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Salo, T., Hokka, L., Vesterinen, V., Kraemer, W. J., Nummela, A. & Häkkinen, K. 2014. Mixed Maximal and Explosive Strength Training in Recreational Endurance Runners. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (3), 689–699.
- Tegtbur, U., Busse, M. W. & Braumann, K. M. 1993. Estimation of an Individual Equilibrium between Lactate Production and Catabolism During Exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (5), 620–627.
- Tounsi, M., Jaafar, H., Aloui, A. & Souissi, N. 2018. Soccer-related Performance in Eumenorrhic Tunisian High-level Soccer Players: Effects of Menstrual Cycle Phase and Moment of Day. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 58 (4), 497–502.
- Turner, A. M., Owings, M. & Schwane, J. A. 2003. Improvement in Running Economy After 6 Weeks of Plyometric Training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17 (1), 60–67.
- Urhausen, A., Coen, B., Weiler, B. & Kindermann, W. 1993. Individual Anaerobic Threshold and Maximum Lactate Steady State. *International Journal of Sports Medicine* 14 (3), 134–139.
- Vesterinen, V., Nummela, A., Heikura, I., Laine, T., Hynynen, E., Botella, J. & Häkkinen, K. 2016. Individual Endurance Training Prescription with Heart Rate Variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (7), 1347–1354.
- Wahl, P., Manunzio, C., Vogt, F., Strütt, S., Volmary, P., Bloch, W. & Mester, J. 2017. Accuracy of a Modified Lactate Minimum Test and Reverse Lactate Threshold to Determine Maximal Lactate Steady State. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (12), 3489–3496.
- Wahl, P., Zwingmann, L., Manunzio, C., Wolf, J. & Bloch, W. 2018. Higher Accuracy of the Lactate Minimum Test Compared to Established Threshold Concepts to Determine

- Maximal Lactate Steady State in Running. *International Journal of Sports Medicine* 39 (7), 541–548.
- Wasserman, K., van Kessel, A. L. & Burton, G. G. 1967. Interaction of Physiological Mechanisms During Exercise. *Journal of Applied Physiology* 22 (1), 71–85.
- Wergel-Kolmert, U. & Wohlfart, B. 1999. Day-to-Day Variation in Oxygen Consumption and Energy Expenditure During Submaximal Treadmill Walking in Female Adolescents. *Clinical Physiology* 19 (2), 161–168.
- Wergel-Kolmert, U., Wisén, A. & Wohlfart, B. 2002. Repeatability of Measurements of Oxygen Consumption, Heart Rate and Borg's Scale in Men During Ergometer Cycling. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 22 (4), 261–265.
- Wergel-Kolmert, U., Ågehall, A., Rosenberg, N. & Wohlfart, B. 2001. Day-to-Day Variation in Oxygen Consumption at Submaximal Loads During Ergometer Cycling by Adolescents. *Clinical Physiology* 21 (2), 135–140.
- Yeh, M. P., Gardner, R. M., Adams, T. D., Yanowitz, F. G. & Crapo, R. O. 1983. "Anaerobic Threshold": Problems of Determination and Validation. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 55 (4), 1178–1186.

# LIITE 1. Jokaisen tutkittavan täyttämä terveystietolomake.



Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU

## ESITIELOMAKE

Nimi: \_\_\_\_\_ Synt.aika: \_\_\_\_\_

Oireet viimeisen 6 kk aikana:	Kyllä	Ei	En osaa sanoa
1. Onko sinulla ollut rintakipuja?			
2. Onko sinulla ollut rasitukseen liittyvää hengenahdistusta?			
3. Onko sinulla ollut huimausoireita?			
4. Onko sinulla ollut rytmihäiriötuntemuksia?			
5. Onko sinulla ollut harjoittelua estäviä kipuja liikuntaelimissä? Missä?			
6. Oletko tuntenut ylikuormitus- tai stressioireita?			

Todetut sairaudet: Onko sinulla tai onko sinulla ollut jokin/joitakin seuraavista? (ympyröi)

01 sepelvaltimotauti	02 sydäninfarkti	03 kohonnut verenpaine	04 sydänlappävika
05 aivohalvaus	06 aivoverenkierron häiriö	07 sydämen rytmihäiriö	08 sydämentahdistin
09 sydänlihassairaus	10 syvä laskimotukos	11 muu verisuonisairaus	12 krooninen bronkiitti
13 keuhkolaajentuma	14 astma	15 muu keuhkosairaus	16 allergia
17 kilpirauhasen toimintahäiriö	18 diabetes	19 anemia	20 korkea veren kolesteroli
21 nivelreuma	22 nivelrikko, -kuluma	23 krooninen selkäsairaus	24 mahahaava
25 pallea-, nivus- tai napatyrä	26 ruokatorven tulehdus	27 kasvain tai syöpä	28 leikkaus äskettäin
29 mielenterveyden ongelma	30 tapaturma äskettäin	31 matala veren K tai Mg	32 kohonnut silmänpaine
33 näön tai kuulon heikkous	34 urheiluvamma äskettäin		

muita sairauksia tai oireita, mitä: \_\_\_\_\_

Lääkitys: Käytätkö jotain lääkitystä tai lääkeainetta säännöllisesti tai usein? 1 En 2 Kyllä, mitä: \_\_\_\_\_

Tupakoitko? 1 En 2 Kyllä

Raskaus/synnytykset: 1 Olen raskaana, raskausviikko \_\_\_\_\_ 2 Olen synnyttänyt \_\_\_\_\_ kk / v sitten

Kuumetta, flunssaista oloa tai muuten poikkeavaa väsymystä viimeisen kahden viikon aikana: 1 Ei 2 Kyllä

Kauanko on kulunut aikaa viimeisestä ateriasta \_\_\_\_\_ h, viimeisestä kofeiinipitoisesta juomasta (kahvi, tee, energia- tai kolajuoma) \_\_\_\_\_ h, viimeisestä alkoholijuomasta \_\_\_\_\_ h / vrk

Kahden edeltävän päivän harjoitukset:

Eilisen päivän harjoitus: \_\_\_\_\_

Edellisen päivän harjoitus: \_\_\_\_\_

Onko lähisuvussasi ennenaikaiseen kuolemaan johtaneita sydänsairauksia? 1 Ei 2 Kyllä

Lähisukulainen? \_\_\_\_\_ Minkä ikäisenä? \_\_\_\_\_

Onko todettu synnynnäinen sydänvika? \_\_\_\_\_

Olen vastannut kysymyksiin rehellisesti parhaan tietämykseni mukaan

Päivä \_\_\_\_\_ Allekirjoitus \_\_\_\_\_

### **Miltä kuormitus tuntuu?**

6

7 Erittäin kevyt

8

9 Hyvin kevyt

10

11 kevyt

12

13 hieman rasittava

14

15 rasittava

16

17 hyvin rasittava

18

19 erittäin rasittava

20