

**MAKSIMAALISEN AEROBISEN KAPASITEETIN VAIKUTUS
KAMPPAILIJOIDEN PALAUTUMISKYKYYN VUOROKAUDEN
PALAUTUMISAJALLA INTENSIIVISESTÄ KESTÄVYYSKUORMITUKSESTA**

Tuomas Simola

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Syksy 2021

TIIVISTELMÄ

Simola, T. 2021. Maksimaalisen aerobisen kapasiteetin vaikutus kamppailijoiden palautumiskykyyn vuorokauden palautumisajalla intensiivisestä kestävyyskuormituksesta. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 69 s.

Johdanto. Kamppailulajeissa palautumiskyky on tärkeää turnausmuotoisissa kilpailuissa. Turnauksissa otteluita voi tulla useita saman päivän aikana ja monissa lajeissa loppuottelut otellaan alkuotteluita seuraavana päivänä. Kamppailulajeissa vaaditaan monipuolisia fyysisiä ominaisuuksia, joihin lukeutuu olennaisesti myös kestävyyskunto. Mieskamppailijoilla on mitattu maksimaalisia hapenottoja (VO₂max) suuruudeltaan 55–60 ml/kg/min. Tässä tutkimuksessa selvitetään, onko VO₂max:lla vaikutusta kestävyysuorituskyvyn ja hermolihasjärjestelmän voimantuoton palautumiseen intensiivisen kestävyyskuormituksen jälkeen.

Menetelmät. Tutkittavina oli 20 miestä, jotka olivat harraste- tai kilpailutason kamppailijoita. Tutkimus koostui kolmesta testikerrasta kahden viikon aikana. Ensimmäisessä testissä tutkittavien VO₂max ja maksimaalinen aerobinen työteho selvitettiin suoralla testillä. Intensiivisenä kestävyyskuormituksenä toimi aerobisella maksimiteholla suoritettu pyöräily uupumuksen asti (AERPmax), jonka tutkittava toisti toisessa testissä 15 minuutin palautuksella kolmesti. Ennen ja jälkeen kuormitusten mitattiin hermolihasjärjestelmän suorituskykyä kevennyshypyn (nousukorkeus) ja isometrisen jalkaprässin (maksimaalinen voimantuotto) avulla. Kuormituksen aikana mitattiin hapenottoa hengityskaasuanalysaattorilla sekä otettiin aikaa suorituksen kestosta. Kolmannella testikerralla vuorokausi edellisestä testikerrasta tutkittava teki kertaalleen AERPmax kuormituksen ja suorituskykymittaukset toistettiin. Palautumismuuttujat olivat kevennyshypyn nousukorkeuden kuormituspäivien lähtötasojen erotus (CMJE), isometrisen jalkaprässiin tuotetun maksimivoiman kuormituspäivien lähtötasojen erotus (MIFE), kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax suoritusten kestoajojen erotus (sMAXE) ja kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax suoritusten VO₂max erotus (VO₂maxE). Suora testi ja kuormitukset tehtiin polkupyöräergometrilla.

Tulokset. Minkään palautumismuuttujan ja VO₂max:n välillä ei ollut tilastollisesti merkittävää lineaarista riippuvuutta: CMJE ($r = -0.185$, $p = 0.434$), MIFE ($r = -0.029$, $p = 0.905$), VO₂maxE ($r = 0.217$, $p = 0.357$) ja sMAXE ($r = -0.229$, $p = 0.331$). Tutkittavista viidellätoista kestävyysuoritus parantui seuraavalle päivälle. Tutkittavien hapenottoa parantui 3.7 % kuormitusta seuraavalle päivälle ($p = 0.0003$). Isometrisessä jalkaprässissä mitattu maksimaalinen voimantuotto heikkeni kuormitusta seuraavalle päivälle 5.1 % ($p = 0.052$).

Pohdinta. Tämän tutkimuksen perusteella aerobinen kapasiteetti ei vaikuta kamppailijoiden palautumiseen seuraavalle päivälle kestävyyskuormituksesta. Tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon, että kuormitukset eivät sisältäneet kamppailulajeille tyypillistä eksentristä kuormitusta. Tutkittavat palautuivat hyvin kuormituksista ja tässä tutkimuksessa suurimman osan kestävyysuorituskyky kohentui seuraavalle päivälle. Ainoastaan jalkojen ojentajien voimantuotossa näkyi väsymystä kuormituksesta seuraavana päivänä. Aerobisen kapasiteetin harjoittelua ei tule tämän tutkimuksen tulosten pohjalta perustella palautumiskyvyn näkökulmasta, mutta toisaalta tulee ymmärtää, että paremman aerobisen kapasiteetin omaava pääsee absoluuttisesti samasta kestävyyskuormituksesta helpommalla. Kamppailulajien ottelutilanteessa paremman aerobisen ja anaerobisen kunnon omaava ottelija väsy vähemmän tilanteessa, jossa ottelijoiden kuormitus on samalla tasolla.

Asiasanat: kamppailulajit, aerobinen kapasiteetti, palautuminen.

ABSTRACT

Simola, T. 2021. The effect of maximal aerobic capacity on the ability of combat sports practitioners to recover from the previous day's intense endurance loading. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 69 pp.

Introduction. In combat sports, the ability to recover from fatigue is crucial in tournament competitions. In tournaments, there can be several matches during the same day and in many sports, the finals are contested the day after the preliminary matches. Combat sports require a variety of physical attributes, in which aerobic fitness is also essential. Maximum oxygen uptake (VO_{2max}) of 55-60 ml/kg/min has been measured on elite male wrestlers. This study investigates whether maximal oxygen uptake affects the recovery of endurance performance and the recovery of power of the neuromuscular system after intense endurance loading.

Methods. Twenty (20) men who were combat sports hobbyists or competition-level athletes participated in the study. The study consisted of three test sessions for two weeks. In the first session, the VO_{2max} and maximum aerobic power were determined in an incremental aerobic test. Intensive endurance loading was cycling to exhaustion at maximum aerobic power (AERPmax). In the second session, subjects performed three AERPmax with 15 minutes break between loadings. Before and after loadings, the performance of the neuromuscular system was assessed by measuring countermovement jump height and maximum power output on the isometric leg press. Oxygen uptake was measured with a gas analyzer during loadings and time was taken to measure the duration of the performance. On the third session, the day after the previous session subjects performed one AERPmax to exhaustion, and the performance measurements were repeated. Recovery variables were the difference in countermovement jump pre values between loading days (CMJE), the difference in isometric leg press maximum power pre values between loading days (MIFE), the difference between the length of the first AERPmax of the loading days (sMAXE) and difference in VO_{2max} between the first AERPmax of the loading days (VO_{2maxE}). All the loadings were performed with a bicycle ergometer.

Results. There was no statistically significant linear relationship between any recovery variable and VO_{2max} : CMJE ($r = -0.185$, $p = 0.434$), MIFE ($r = -0.029$, $p = 0.905$), VO_{2maxE} ($r = 0.217$, $p = 0.357$) and sMAXE ($r = -0.229$, $p = 0.331$). Endurance performance improved on the following day with 15 of the subjects. Oxygen uptake of the subjects improved by 3.7 % the day after endurance loading ($p = 0.0003$). The maximum power output measured in the isometric leg press decreased by 5.1% ($p = 0.052$) the day after endurance loading.

Discussion. Based on this study aerobic capacity does not affect the recovery of combat sports practitioners for the following day from endurance loadings. However, it should be considered that the loadings did not include eccentric work that is typical in combat sports. Subjects recovered from the loadings and the endurance performance of most of the subjects improved the following day. Only the maximum power output in the isometric leg press showed signs of fatigue the day after the loading. Based on the results of the study the training of aerobic capacity should not be justified purely from the point of view of recovery. However, it should be noted that with greater aerobic capacity the same absolute endurance loading is less straining. In a combat sports match situation, a contestant with better aerobic and anaerobic capacity will be less fatigued in a situation where the straining of the contestants is the same.

Keywords: combat sports, aerobic capacity, recovery.

KÄYTETYT LYHENTEET

AERPmax	aerobisella maksimiteholla suoritettu kuormitus uupumuksen asti polkupyöräergometrilla
ATP	adenosiinitrifosfaatti
CMJ	kevennyshyppy
CMJE	kevennyshypyn nousukorkeuden kuormituspäivien lähtötasojen erotus
DOMS	delayed onset muscle soreness, viivästynyt lihaskipu
EPOC	excess postexercise oxygen consumption, kuormituksen jälkeinen lepotason ylittävä hapentarve
HIIT	high intensity interval training, korkean intensiteetin intervalliharjoittelu
MIF	maximum isometric force, maksimaalinen isometrinen voimantuotto (tässä tutkimuksessa isometrinen jalkaprässi)
MIFE	isometriseen jalkaprässiin tuotetun maksimivoiman kuormituspäivien lähtötasojen erotus
sMAXE	kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax suoritusten kestoajkojen erotus
VO2	hapenotto
VO2max	maksimaalinen hapenotto
VO2maxE	kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax suoritusten maksimaalisen hapenoton erotus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 AEROBINEN KAPASITEETTI JA SEN MITTAAMINEN	3
3 INTENSIIVINEN KESTÄVYYSKUORMITUS	7
3.1 Tyypillisiä fysiologisia vasteita.....	8
3.2 Väsymys ja palautuminen.....	9
3.2.1 Aineenvaihdunta.....	10
3.2.2 Autonominen hermosto	11
3.2.3 Hengitys- ja verenkiertoelimistö	12
3.2.4 Hermolihasjärjestelmä.....	13
3.3 Kuormitus ja väsymys kamppailulajeissa: paini	13
4 PALAUTUMISEN MEKANISMEJA	16
4.1 Lihaksen ATP ja fosfokreatiini	17
4.2 Anaerobinen glykolyysi.....	18
4.3 Aerobinen aineenvaihdunta	20
4.4 Glykogeenivarastot.....	23
4.5 DOMS ja lihassoluvauriot	23
4.6 Hormonit.....	25
5 AEROBISEN KAPASITEETIN VAIKUTUS PALAUTUMISEEN	28
6 TUTKIMUSKYSYMYKSET	31
7 TUTKIMUSMENETELMÄT	33
7.1 Tutkittavat.....	33

7.2	Tutkimusasetelma.....	34
7.3	Mittaukset.....	35
7.3.1	Testikerta 1: Suora testi.....	35
7.3.2	Testikerrat 2 ja 3: Kuormitustestit.....	37
7.4	Tilastolliset menetelmät.....	39
8	TULOKSET.....	41
8.1	Hermolihasjärjestelmän palautumismuuttujat.....	44
8.2	Kestävyys suorituskyvyn palautumismuuttujat.....	46
9	POHDINTA.....	48
9.1	Mahdollisia selityksiä parantuneelle kestävyys suorituskyvylle.....	49
9.2	Eksentrisen lihastyön puute.....	50
9.3	Hapenoton kinetiikka ja hengitystekniikka.....	52
9.4	Tutkimuksen rajoituksia.....	53
9.4.1	Vakiointi.....	53
9.4.2	Tutkittavien motivaatio ja oppimisvaikutus.....	54
9.5	Tutkimuksen vahvuuksia.....	55
9.6	Johtopäätökset.....	55
9.7	Käytännön sovellukset.....	56
	LÄHTEET.....	57
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Kamppailulajien valmentajien kuulee sanovan: ”Mitä kovemmassa kunnossa olet, sitä nopeammin palautut”. Pitääkö tämä paikkaansa?

Palautumiskyky väsymyksestä on toki merkittävä tekijä kamppailulajeissa. Kamppailulajeissa pitää pystyä toistamaan kuormittavia ottelusuorituksia useasti saman päivän aikana ja myös seuraavana päivänä (United World Wrestling 2019; AIBA 2021; IMMAF 2021). Monissa kamppailulajeissa on siirrytty useamman päivän kestäviin kilpailuturnauksiin. Painin arvokisoissa ensimmäisenä kilpailupäivänä otellaan kaavio välieriin asti aamupäivän aikana. Ensimmäisen päivän iltana painitaan välierät ja toisen päivän iltana finaali (United World Wrestling 2019). Amatööriyrkkeilyn ja -vapaaottelun arvokisojen turnauksissa otellaan yksi ottelu yhden päivän aikana (AIBA 2021; IMMAF 2021). Tämä tarkoittaa, että urheilijoiden on tärkeä palautua ja pystyä toistamaan kilpailusuoritus lyhyen ajan sisällä uudestaan. Jokainen kamppailuottelu on uniikki, sillä fysiologiseen kuormitukseen vaikuttavat ottelijoiden taso sekä tekniset ja taktiset valinnat. Myös kamppailulajien harjoittelu on fyysisesti kuormittavaa, sillä harjoitusohjelmaan kuuluu otteluja simuloivia sparriharjoituksia, fysiikkaharjoittelua ja paljon tekniikkaharjoittelua (Sarkkinen 2016, 551–552). On siis tärkeää, että urheilija palautuu.

Kamppailulajien ottelukuormitus on sekä aerobisesti että anaerobisesti rasittavaa (Barbas ym. 2010; Kraemer ym. 2002). Aerobiset ominaisuudet ovat kamppailijoilla tärkeitä, mikä huomataan huippupainijoilta mitatuista maksimaalisen hapenoton arvoista, jotka miehillä ovat keskimäärin 55–60 ml/kg/min (Callan ym. 1998; Sarkkinen 2016, 548). Kamppailulajien kuormitusta voi lajien luonteen takia pitää epäsäännöllisenä toistuvana intervallikuormituksena, jossa myös kestävyys suorituskyky on olennainen osa-alue (Barbas ym. 2010; Kraemer ym. 2002). Eri kamppailulajien erien ja otteluiden kesto vaihtelee ja myös fyysinen kuormitus vaihtelee lajien välillä. Tämä tekee kamppailulajien kuormituksen vakioinnista tutkimusasetelmassa haastavaa.

Tässä tutkimuksessa selvitetään, onko maksimaalisella hapenotto-kyvyllä vaikutusta kestävyys- ja voimantuoton palautumiseen intensiivisten kestävyyskuormitusten jälkeen. Tutkittavat olivat mieskamppailijoita. Polkupyöräergometrillä toteutetuissa kuormituksissa pyrittiin simuloimaan kamppailuottelun kuormitusta kestävyys-suorituksen osalta. Tutkittavien kuormitus suhteutettiin samalle tasolle omaan mitattuun aerobiseen maksimitehoon nähden. Tutkimuksessa mitattiin lyhyen ajan palautumista (15 min) ja palautumista seuraavalle päivälle (23–25 tuntia). Tässä opinnäytetyössä tutkitaan aerobisen kapasiteetin vaikutusta intensiivisestä kestävyyskuormituksesta palautumiseen kuormitusta seuraavana päivänä.

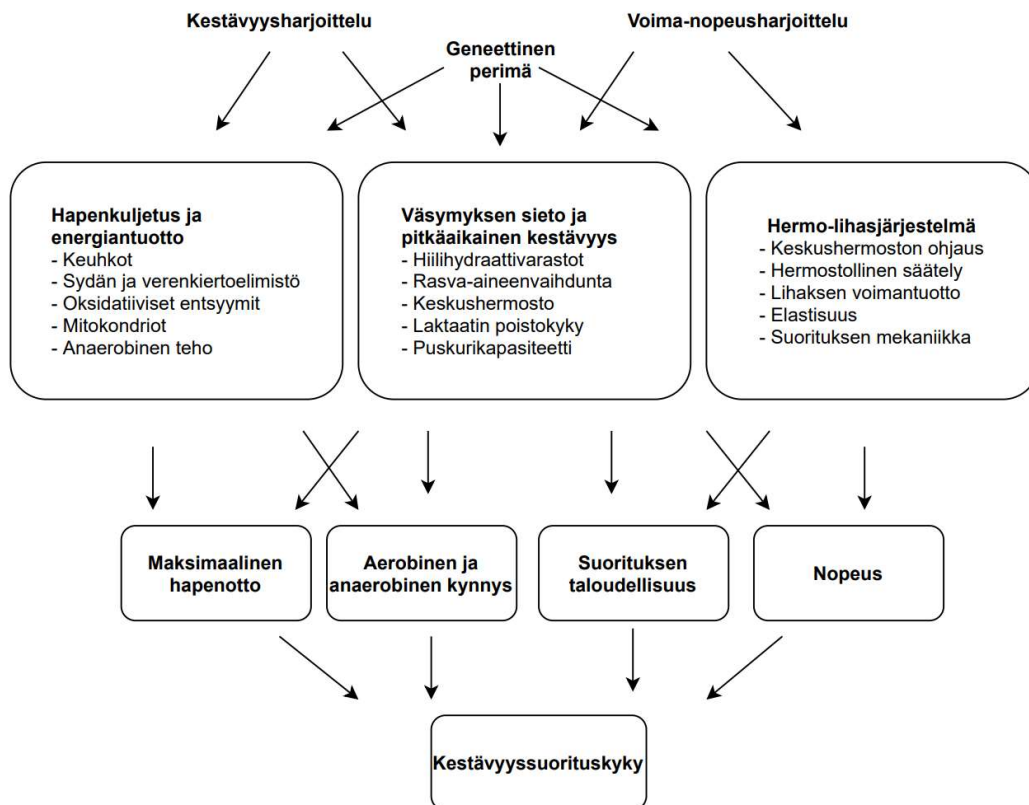
2 AEROBINEN KAPASITEETTI JA SEN MITTAAMINEN

Maksimaalinen hapenottokyky (VO₂max) on merkittävä ominaisuus aerobisen kunnan taustalla. Se kertoo elimistön kyvystä hyödyntää happea energiantuotannossa kuormituksen aikana (Peltonen & Nummela 2018, 64–65). VO₂max voidaan ilmoittaa absoluuttisesti tilavuutena minuutissa (l/min) tai kehon painoon suhteutettuna (ml/kg/min). Lajeissa, joissa väline (pyöräily, soutu) kannattaa kehonpainoa absoluuttinen hapenotto korostuu. Kun taas lajeissa, joissa kannatellaan omaa kehonpainoa (juoksu), on kehoon painoon suhteutettu arvo käyttökelpoisempi. VO₂max tasoon vaikuttaa työskentelevien lihasten määrä. Mitä suurempaa lihasmassaa suorituksessa käytetään, sitä suurempia VO₂max arvoja saavutetaan, esimerkkinä hiihto (Holmberg ym. 2007). VO₂max on hyvin lajispesifi, sillä harjoittelu kehittää kykyä käyttää happea lihaksissa, joilla harjoittelua toistetaan. Myös yksilölliset ominaisuudet kuten ikä, sukupuoli, harjoittelutila ja perinnölliset tekijät, kuten lihassolujakauma, vaikuttavat hapenottokykyyn (Döbeln ym. 1967; Sparling 1980).

Aerobinen kapasiteetti tarkoittaa elimistön kykyä kuljettaa happea hengitysilmaista kuormitettuille lihaksille ja lihasten kykyä käyttää happea (Peltonen & Nummela 2018, 66–67). Merkittävin osa energiantuotosta kestävyysuorituksen aikana perustuu hapen jatkuvalla kuljettamiselle kohdesoluille. Wagner (1996) kuvailee hapensiirtoketjun, jossa keuhkoihin hengitetty happi sitoutuu hemoglobiinin avulla verenkiertoon alveolaarisessa kaasujen vaihdossa. Happi kulkeutuu verenkierron lihasten kapillaareihin, joissa happimolekyylit irtoavat hemoglobiinista ja kulkeutuvat solun mitokondrioihin. Hapen kulkuun verenkierron vaikuttavat sydämen minuuttitilavuus, veren hemoglobiinipitoisuus ja sen happikylläisyys sekä lihasten verenvirtaus (Peltonen & Nummela 2018, 71). Sydämen minuuttitilavuus on sydämen sykkeen ja iskutilavuuden tulo. Kuormituksen kasvaessa syke nousee lineaarisesti lähelle maksimia samalla kun iskutilavuus nousee nopeasti kuormituksen alussa ja vakiintuu noin 40–50 % tasolle VO₂max:sta (Moore & Brown 2012). Kestävyysurheilijoilla on huomattu, että sydämen iskutilavuus ei vakiinnu, vaan jatkaa nousua kuormituksen kasvaessa (Gledhill ym. 1994). Ominaisuus on kuitenkin yksilöllinen ja siihen vaikuttavat mm. harjoitustila, ikä ja sukupuoli (Gledhill ym. 1994). Maksimaalisen hapenottokyvyn rajoittavin tekijä on verenkierron oleva kokonaishemoglobiinin määrä, johon happi sitoutuu (Hynynen 2016, 126). Koska verta

on ihmisen elimistössä rajallinen määrä, joutuu elimistö kovassa rasituksessa rajoittamaan veren jakautumista työskenteleville lihaksille. Tämän vuoksi elimistön verimäärä ja sydämen minuuttitilavuus ovat keskeisessä asemassa työskentelevien lihasten hapetuksessa. Iskutilavuuden eli sydämen vasemman kammion koon merkitys on olennainen suuren minuuttitilavuuden ja siten tehokkaan verenkierron mahdollistajana (Hynynen 2016, 126).

Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat fysiologisesti VO₂max:n lisäksi aerobinen ja anaerobinen kynnys, hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuudet ja suorituksen taloudellisuus (Peltonen & Nummela 2018, 64). Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat lihasten sähköinen aktiivisuus (EMG) ja lihaskudosten happeutumiskynnykset (Peltonen & Nummela 2018, 65). Kestävyysuorituskyvyn kannalta on oleellista maksimaalinen aerobinen työteho, eli teho, jolla VO₂max saavutetaan (Coyle 1995). Harjoittelu ja geneettinen perimä vaikuttavat fysiologisiin ominaisuuksiin kestävyysuorituskyvyn taustalla (kuvio 1).



KUVIO 1. Kestävyysuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä (mukailtu Paavolainen ym. 1999).

Kestävyysominaisuuksia on mahdollista määrittää luotettavasti ja toistettavasti erilaisilla kuormitustavoilla ja -malleilla. On huomattu, että maksimiteho, syke ja VO₂max korreloivat keskenään riippumatta kuormitustavasta tai -mallista (Pollock ym. 1976). On kuitenkin huomioitava, että kuormitustapa ja -malli vaikuttavat absoluuttisessa kuormituksessa ilmeneviin aerobisen tehon ja VO₂max:n arvoihin, sillä VO₂max on lajispesifinen ominaisuus (Adami ym. 2013).

Aerobista kapasiteettia mittavaa suoraa maksimitestiä voidaan tehdä joko portaittain nousevana kuormituksena tai yhtäjaksoisena tasavauhtisena kuormituksena. Kuormitusportaiden keston osalta on huomattu, että suurin aerobinen teho ja VO₂max saadaan, kun kuormitusportaat pidetään lyhyinä, enintään minuutin mittaisina (Zhang ym. 1991). Pidempiä portaita suositellaan, jos halutaan selvittää tehoa vastaavaa rasitusvastetta sekä määrittää suorituksen taloudellisuutta ja laktaattikynnykset (aerobinen ja anaerobinen kynnys). Tällöin kuormitusportaan tulisi kestää vähintään kaksi minuuttia, jotta kuormitusta vastaava hapenkulutuksen tasanne (steady state) saavutetaan (Barstow 1994).

Suoraa maksimitestiä kuormitusportailta suositellaan, kun halutaan tarkasti mitata aerobista aineenvaihduntaa ja kapasiteettia (Nummela & Peltonen 2018, 79–80). Jos samalla halutaan selvittää testattavan maksimaalinen suorituskyky, testi aloitetaan kevyellä kuormituksella, jonka jälkeen kuormaa nostetaan portaittain, kunnes testattava uupuu. Testin aikana testattavan keuhkotuuletusta ja alveolaarista kaasujenvaihtoa mitataan hengityskaasuanalysointilla. Koska suoraa testiä käytetään aerobisen aineenvaihdunnan ja kapasiteetin testaamiseen ja näiden ominaisuuksien seurantaan tulee menetelmällä olla hyvä toistettavuus (Bentley ym. 2007). Tällöin olennaista on testilaitteiston vakiointi suorittamalla asianmukaiset kalibroinnit ja testiympäristön vakiointi (lämpötila, ilmanpaine ja ilmankosteus). Toistettavuuteen vaikuttaa merkittävästi testattavan harjoitus- ja kuormitustila. Testin tulisi sijoittua harjoittelussa siten, että testattava tulee testiin palautuneessa tilassa ja testin toistettavuuden kannalta samassa vaiheessa harjoituskautta. Myös ravitsemus- ja nesteytystila tulisi vakioida. (Bentley ym. 2007)

Nummelan ja Peltosen (2018, 80) mukaan suoraan testiin valitaan sellainen kuormitustapa, joka on testattavalle tuttu hänen harjoittelustaan. Koska kestävyys suorituskyky on lajispesifi ominaisuus, saadaan paras ja luotettavin tulos testattavan kapasiteetista tutusta harjoitteesta. Juoksua harjoitteena käyttäville urheilijoille suositetaan juoksemalla tehtävää testiä, kun taas polkupyöräergometritesti sopii montaa lajia harrastaville testattaville. Koska kuormitusta vastaava hapenkulutuksen taso saadaan varmistettua kolme minuuttia kestävän kuormitusportaan aikana ja laktaattikynnyksiä määriteltäessä suositellaan noin 8–12 kuormitusportasta, on noin 30 minuuttia kestävä suora testi muodostunut kuntotestauksen käytännöksi. (Nummela & Peltonen 2018, 80–84)

3 INTENSIIVINEN KESTÄVYYSKUORMITUS

Intensiivistä lihastyötä tarvitaan monissa eri urheilulajeissa. Lajista riippuen aerobisen ja anaerobisen kuormituksen määrä vaihtelee (Newsholme ym. 1992). Kestävyysurheilijoiden ominaisuuksia suosii kestoaltaan pidemmat kuormitukset. Näitä ominaisuuksia ovat lihassoluja-kauma, jossa on suhteessa enemmän hitaita ja kestäviä tyyppiä 1 lihassoluja, aineenvaihdunnan ja hengitys- ja verenkiertoelimistön tehokas säätely sekä suuri aerobinen kapasiteetti (Cipryan ym. 2017). Puolestaan teholaajien urheilijoiden ominaisuudet kuten nopea voimantuotto ja anaerobinen energiantuotannon kapasiteetti korostuvat lyhyissä ja intensiivisissä suorituksissa (Cipryan ym. 2017). Monissa lajeissa tarvitaan kuitenkin sekä kestävyys-, että tehontuotto-ominaisuuksia. Tällöin hyödynnetään monipuolisesti elimistön eri energiantuottojärjestelmiä. Välittömien energianlähteiden ATP:n ja fosfokreatiinin hyödyntäminen sekä anaerobisesta glykolyysista saatava energia mahdollistavat korkean intensiteetin suoritukset (Tschakert & Hofmann 2013). Aerobisen energiantuoton rooli korostuu, kun intensiivistä suoritusta pitää pystyä ylläpitämään (Tschakert & Hofmann 2013). Newsholmen ym. (1992) tutkimuksessa huomattiin, että kestoaltaan noin 90–120 sekunnin maksimaalisissa suorituksissa energiantuototavat jakautuvat tasaisesti aerobisen ja anaerobisen energiantuoton välille.

Seilerin & Tønnessenin (2009) mukaan kestävyyskuormitusten intensiteetin voi määrittellä vertaamalla sitä yksilöllisiin laktaatti- tai ventilaatiokynnyksiin (aerobinen ja anaerobinen kynnykset). Matalan intensiteetin kuormituksena pidetään suoritusta aerobisen kynnyksen alapuolella. Aerobisen ja anaerobisen kynnyksen välillä intensiteettiä voidaan pitää kohtalaisena, kun puolestaan korkean intensiteetin suoritus tapahtuu anaerobisen kynnyksen yläpuolella. (Seiler & Tønnessen 2009)

Black ym. (2016) tarkentavat kestävyysuorituksen intensiteetin määrittelyä. Kuormituksen kasvaessa kestävyysuorituksessa huomataan, että hiilidioksidin tuotto alkaa kasvamaan suhteessa hapenkulutukseen (Gas exchange threshold (GET)) (Beaver ym. 1986). Kriittiseksi tehoksi (critical power) määritetään työtasoa, jolla voidaan ylläpitää suurta tehoa pitkäaikaisesti ilman väsymystä. Kun tarkastellaan aikoja, joita eri työtehoilla pystytään ylläpitämään, huomataan, että niiden suhde ei ole lineaarinen. Kriittinen teho on kohta, jossa tehon

pieneneminen hidastuu suorituksen keston pidentyessä. Kriittinen teho löytyy yleensä anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä (Burnley ym. 2006). Raskaan intensiteetin kuormituksena Black ym. (2016) pitävät aluetta GET:n ja kriittisen tehon väliltä. Kriittisen tehon ylittäviä kuormituksia voidaan pitää rajuina. Kestävyyskuormituksessa supra-maksimaalisena intensiteettinä voidaan pitää suoritusta, joka tapahtuu yli VO₂max:ia vastaavalla teholla.

Esimerkkejä intensiivisistä kestävyyskuormituksista ovat mm. uupumukseen asti suoritettavat yhtäjaksoiset vakioitehoiset kuormitukset, portaittain uupumukseen asti nousevien kuormitusten loppuvaiheet (esim. suora testi), HIIT kuormitukset (High Intensity Interval Training), lyhyet maksimaaliset kuormitukset (esim. Wingate) ja kamppailulajeissa esimerkiksi painin otelusuoritukset (Chino ym. 2014). Tämän luvun tarkoituksena on selvittää minkälaisia fyysisiä vasteita intensiiviset kestävyyskuormitukset aiheuttavat ja miten fyysinen suorituskyky palautuu kuormitusten jälkeen.

3.1 Tyypillisiä fysiologisia vasteita

Intensiivinen kestävyyskuormitus aiheuttaa monenlaisia akuutteja fysiologisia vasteita elimistössä. Hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminta kiihtyy, koska kuormitus lisää hapentarvetta työskentelevissä lihaksissa. Tämä näkyy keuhkotuuletuksen lisääntymisenä ja syketaajuuden kiihtymisenä (Hynynen 2016, 119, 123). Intensiivisessä kestävyyskuormituksessa hyödynnetään sekä aerobista että anaerobista energiantuottoa. Suorituksen lähestyessä maksimaalista aerobista tehoa glykolyysin merkitys energiantuotossa kasvaa, mikä johtaa lihasten ja veren happamoitumiseen. Happamoituminen näkyy laktaattipitoisuuden kasvuna. Fysiologisiin vasteisiin vaikuttaa kuormitustavan lisäksi urheilijan sukupuoli, ikä, urheilijatyypin (mm. lihassolujakauma), harjoittelutausta ja -tila sekä suorituksen taloudellisuus. (Nummela 2016, 137–139.) Kestävyysharjoitus, intensiteetistä riippuen, aiheuttaa tiettyjen veren hormonipitoisuuksien tilapäisen nousun. Kortisolin, adrenaliinin, noradrenaliinin, insuliinin ja kasvuhormonin pitoisuuksien nousua havaitaan kestävyysharjoituksen yhteydessä (Friedmann & Kindermann 1989).

Hermolihasjärjestelmän vasteisiin kestävyyskuormituksen yhteydessä vaikuttavat kuormitus-tapa ja urheilijatyypit. Näyttää siltä, että kestävyysurheilijoilla alaraajojen voimantuottokyvystä kertova esikevennyshyppy ei heikkene HIIT-kuormituksen seurauksena (García-Pinillos ym. 2016, Vuorimaa ym. 2000). Puolestaan miesopiskelijoilla tehdyssä tutkimuksessa huomattiin, että Wingate-testin yhteydessä polven ojentajien voimantuotto heikkenee selvästi kuormituksen seurauksena (Fernandez-del-Olmo ym. 2013).

3.2 Väsymys ja palautuminen

Suorituksen intensiteetti vaikuttaa lukuisiin elimistön mekanismeihin ja vasteisiin, kuten hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormituksen tasoon, energiantuottotapojen hyödyntämiseen ja motoristen yksiköiden rekrytointiin (Seiler & Tønnessen 2009). Edellä mainitut mekanismit puolestaan vaikuttavat harjoittelun aiheuttamaan väsymykseen ja siitä palautumiseen. Kestävyysuorituksen aikaista väsymystä voidaan määrittää lisääntyneenä koettuna uupumuksena, joka havaitaan yhdessä lihasten toimintakyvyn heikkenemisen kanssa (Abbiss & Laursen 2005). Korkeamman intensiteetin kestävyysuoritusten aiheuttama väsymys vaikuttaa johtuvan enemmän perifeerisistä tekijöistä, kuten lihasten supistumisominaisuuksien heikkenemisestä. Kun taas pitkäkestoisen matalan intensiteetin aiheuttama väsymys kuormituksessa näyttää selittyvän enemmän sentraalisen ohjauksen väsymisestä, mikä näkyy heikentyneenä tahdonalaisena voimantuottona (Carroll ym. 2017). Matalan intensiteetin pitkäkestoinen kuormitus voi heikentää myös lihasten venymisrefleksiä ja jäykkyyttä (muscle stiffness) (Avela & Komi 1998). Intensiteetin kasvaessa lisääntynyt sydämen syke ja hapenkulutus osaltaan vaikuttavat autonomisen hermoston sympaattisen aktivaation lisääntymiseen ja katekoliamiinien lisääntyneeseen eritykseen, milloin samalla parasympaattisen hermoston aktiivisuus vaimenee (Le Meur ym. 2014). Harjoittelukuormitus nostaa sympaattisen hermoston aktiivisuutta, joka lisääntyy harjoittelun intensiteetin kasvaessa. Kestävyysurjoittelijoilla on huomattu kuormituksen jälkeen nopeammin alkavaa parasympaattisen hermoston aktivaatiota ja sympaattisen hermoston aiheuttamien vaikutusten vaimenemista (Seiler ym. 2007). Sympaattisen ja parasympaattisen hermoston toimintaa voidaan arvioida sykevälivaihtelumittauksella.

Billat ym. (1995) vertasivat eliittitason kestävyysjuoksijoilla aerobisen kapasiteetin vaikutusta maksimaalisella aerobisella nopeudella (nopeus millä VO₂max saavutettiin) suoritettun juoksun pituuteen. Tutkimuksessa huomattiin, että mitä korkeampi juoksijan aerobinen kapasiteetti on, sitä lyhyemmän ajan urheilija pystyy ylläpitämään VO₂max:ia vastaavaa vauhtia ($r = -0.538$).

Kuormituksesta johtuvan väsymyksen aiheuttaman suorituskyvyn laskun tarkkaa syytä on vaikea määrittää, sillä kuormitus aiheuttaa lukuisia eri vasteita elimistössä. Yleisesti kuormitustyypistä riippumatta väsymystä aiheuttavia mekanismeja toimii useita päällekkäin samaan aikaan (Winegarden ym. 2021). Tärkein väsymyksestä ja siitä palautumisesta kertova tekijä on suorituskyvyn palautumisen mittaaminen. Lisäksi väsymystä ja palautumista voidaan arvioida mittaamalla kuormituksen aiheuttamia fysiologisia vasteita ja niiden palautumista.

3.2.1 Aineenvaihdunta

Engel ym. (2014) tutkimuksessa 25 fyysisesti aktiivista miestä (29.7 ± 4.6 -vuotiaita) suorittivat neljä peräkkäistä 30:n sekunnin Wingaten-testiä (Bar-Or 1987) polkupyöraergometrillä. Testien välillä oli kahden minuutin tauko. Kuormitus aiheutti merkittävän vasteen verestä mitatun laktaatin määrään. Koehenkilöiden keskimääräinen korkein mitattu laktaattiarvo oli 16.3 ± 3.1 mmol/l.

García-Pinillos ym. (2016) tutkimuksessa vertailtiin kahden eri mallin intervallikuormituksen akuutteja vaikutuksia 18:lla kestävyysurheilijalla. Ensimmäisessä mallissa juostiin 10 kertaa 400 metrin matka 90–120 sekunnin palautuksella vetojen välissä ja toisessa 40:tä kertaa 100 metrin matka 25–30 sekunnin palautuksella. Molemmissa malleissa kokonaismäärä (4000 m) oli sama ja levon/työn suhde oli noin 40 %:ia. Molemmat mallit juostiin vauhdilla, joka oli enemmän kuin koehenkilöiden VO₂max. Verestä mitatun laktaatin perusteella mallien välillä ei ollut eroa vasteissa heti kuormituksen päätyttyä laktaattiarvon ollessa noin 12 mmol/l, mutta viisi minuuttia kuormituksen jälkeen mitatuissa näytteissä huomattiin, että 10 x 400 m mallissa laktaatti oli tilastollisesti merkittävästi enemmän koholla (2.04 mmol/l) verrattuna 40 x 100 m kuormitukseen.

Cipryan ym. (2017) tutkimuksessa vertailtiin kestävyysurheilijoiden ja lyhyen matkan juoksijoiden (sprinttiurheilijat) fysiologisia vasteita kahteen erilaiseen HIIT-kuormitukseen, jotka molemmat suoritettiin koehenkilöiden VO₂max:ia vastaavalla nopeudella: 4 x 180 sekuntia työtä / 180 sekuntia palautusta ja 21 x 30 sekuntia työtä / 30 sekuntia palautusta. Aineenvaihdunnan osalta ryhmien välillä huomattiin eroja laktaatin muodostumisessa ja RER-arvossa (respiratory exchange ratio). Pidempien intervallien HIIT-mallissa kestävyysurheilijoiden laktaatin nousu saavutti tasanteen toisen työjakson jälkeen, kun puolestaan sprinttiurheilijoilla laktaatin nousi jokaisen vedon jälkeen ja saavutti huippuarvon kuormituksen jälkeen mitatussa näytteessä. RER-arvon avulla voidaan epäsuorasti päätellä hiilihydraattien ja rasvojen käyttöä energiantuotossa. RER lasketaan hengityksen kaasujenvaihdon hapen ja hiilidioksidin suhteesta. Suurempi RER-arvo kertoo suhteessa suuremmasta hiilihydraattien käytöstä energiantuotossa (Bellar & Judge 2012). RER:in osalta huomattiin, että pidemmässä HIIT-mallissa sprinttiurheilijoiden RER-arvot olivat kuormituksen aikana merkittävästi kestävyysurheilijoita suurempia. Verestä mitatuissa kreatiinikinaasin, myoglobiinin, leukosyyttien ja IL-6 pitoisuuksien vasteissa ei ollut eroja ryhmien välillä kummassakaan kuormitustavassa (Cipryan ym. 2017).

3.2.2 Autonominen hermosto

Nuutilan ym. (2020) tutkimuksessa vertailtiin erilaisten juoksemalla tehtyjen kestävyyskuormitusten akuutteja vasteita ja niiden palautumista. Koehenkilöinä toimi kestävyysurheilun harrastajia joiden mitattu VO₂max (ml/kg/min) oli 52.2 ± 5.2 . Tutkimuksessa oli neljä erilaista, eri ajankohtina suoritettua kuormitusta: LIT = 90 min matalan intensiteetin (80 % aerobisesta kynnyksestä) tasavauhtinen kuormitus, MOD = 30 min kohtalaisen intensiteetin (aerobisen ja anaerobisen kynnyksen puoliväliä vastaava vauhti) tasavauhtinen kuormitus, HIIT = 6 x 3 minuutin intensiivistä (anaerobisen kynnyksen ja VO₂max:ia vastaavan vauhdin puoliväliä vastaava nopeus) intervallia kahden minuutin palautuksella ja SMIT = kymmenen 30 sekunnin supramaksimaalista (75 %:ia mitatusta 20 metrin lentävän sprintin nopeudesta) sprinttiä, 2.5 minuutin palautuksella.

Mitattu sykevälivaihtelu laski kaikkien kuormitusten jälkeen, mutta suurinta lasku oli MOD ja HIIT-kuormitusten jälkeen. Näyttää siltä, että kun aerobinen kynnyks ylitetään kuormituksessa,

viivästyy parasympaattisen hermoston aktivaatio. Tämä ei selitä kuitenkaan SMIT-kuormituksen aiheuttamaa vähäisempää sykevälivaihtelun laskua, vaikka kuormituksen yhteydessä laktaatin nousu oli merkittävää. SMIT-kuormituksen vähäisempää sykevälivaihtelun laskua selittää mahdollisesti kokonaisuudessaan vähäisempi hengitys- ja verenkiertoelimistön kuormittuminen ja sympaattisen hermoston aktivoituminen. Sykevälivaihtelu palautui kuitenkin kaikkien kuormitusten jälkeen lepotasolle 24 tuntia kuormituksen jälkeen mitattuna.

3.2.3 Hengitys- ja verenkiertoelimistö

Nuutilan ym. (2020) tutkimuksessa vertailtiin myös erilaisten kestävyyskuormitusten vaikutuksia 10 minuutin submaksimaaliseen kontrollikuormitukseen (ennen, jälkeen ja 24 tuntia kuormituksesta). Kaikkien kuormitusten jälkeen kontrollikuormitusten syke oli 10–13 lyöntiä suurempi kuin ennen kuormitusta. Seuraavan päivän kontrollikuormituksessa syke oli palautunut kuormitusta edeltäneelle tasolle. Myös muut mitatut vasteet (laktaatti, RER ja VO₂) olivat palautuneet kontrollissa kuormitusta edeltäneelle tasolle.

García-Pinillos ym. (2016) tutkimuksessa tehtiin sykeseurantaa kahden eri juosten tehdyn intervallikuormituksen välillä. Keskimääräinen syke oli 40 x 100 m testin aikana 160.6 lyöntiä minuutissa (± 12.6), kun puolestaan 10 x 400 m -mallilla keskisyke oli 144.1 lyöntiä minuutissa (± 14.3). Tosin on huomioitava, että 40 x 100 m -mallin suorittaneet tutkittavat pitivät keskimäärin kovempaa vauhtia (125 %:ia VO₂max:ia vastaava vauhti) vedoissa omaan hapenotto-kykyynsä suhteutettuna verrattuna 10 x 400 m:n mallissa (107 %:ia VO₂max:ia vastaava vauhti)

Kestävyysurheilijoiden ja sprinttiurheilijoiden vasteita verrattiin intensiteetin osalta vakioidussa lyhyen ja pitkän mallin HIIT-kuormituksessa Hapenotossa huomattiin eroja (Cipryan ym. 2017). Molempien kuormitusten osalta huomattiin, että kestävyysurheilijat käyttivät absoluuttisesti enemmän happea (4–6 %:ia) kuormituksen aikana, mutta omaan VO₂max:iin suhteutettuna eroja ryhmien välillä ei ollut. Sykkeen muutokset sekä absoluuttisesti että omaan maksimiin suhteutettuna eivät eronneet ryhmien välillä. Myöskään sykevälivaihtelun käyttäytymisessä kuormitusten aikana ja palautumisvaiheessa ei huomattu eroja ryhmien välillä.

3.2.4 Hermolihasjärjestelmä

Alaluvussa (3.2.2) esitellyssä (Nuuttila ym. 2020) tutkimuksessa mitattiin erilaisten kestävyyskuormitusten vaikutusta yleisesti hermolihaskäytön voimantuotosta kertovaan kevenyshyppyyn (CMJ). Välittömästi kuormituksen jälkeen mitattuna CMJ heikkeni LIT ja SMIT-kuormituksissa ennen kuormitusta mitattuihin arvoihin. Seuraavana päivänä mitattuna CMJ oli edelleen alentunut SMIT-kuormituksen jälkeen, mikä viittaisi korkean intensiteetin kuormituksen aiheuttavan häiriöitä lihasten supistumisominaisuuksiin. Koettu rasitus (RPE) ja lihasarvuus olivat suurempia seuraavana päivänä LIT ja SMIT-kuormitusten jälkeen. Tuloksia tarkasteltaessa on tärkeä ymmärtää miten testattavan ominaisuudet, kuten harjoittelusta ja fyysisten ominaisuuksien taso vaikuttavat vasteisiin. Kestävyysurheilijoilla on huomattu jopa kohentuneita CMJ -suorituksia kestävyyskuormitusten jälkeen (Boullousa & Tuimil 2009).

Kestävyysurheilijat suorittivat intervallikuormituksen, jossa he juoksivat viisi 300 metrin juoksuvetoa yhden minuutin palautuksella (Škof & Strojnik 2006). Vetojen juoksuvauhti oli aiemmin mitatusta maksiminopeudesta noin 77 %:ia. Kuormitus oli rasittava, sillä viimeisen vedon jälkeinen laktaatin arvo oli juoksijoilla keskimäärin 12.9 ± 1.1 mmol/l ja syketaajuus 190 ± 4.1 lyöntiä minuutissa. Voimantuottoa mitattaessa huomattiin, että maksimaalisessa isometrisessä polven ojennuksessa tuotettu voima laski hieman heti kuormituksen jälkeen mitattuna verrattuna ennen kuormitusta mitattuun arvoon. Keskimäärin voimantuotto heikkeni 5 %:ia. Prosenttiarvo ei juurikaan muuttunut kahden tunnin ajan mitatuissa palautumiskontrolleissa. Etureidestä (vastus lateralis) sähköstimuluksen avulla mitattu tahdonalaisen lihasaktivaation määrä ei muuttunut kuormituksen takia. Tämä löydös vahvistaisi, että intensiivisen kestävyyskuormituksen vaikutukset näkyvät lihasten toiminnan osalta perifeerisenä väsymyksenä, mutta ei sentraalisen ohjauksen määrässä (Škof & Strojnik 2006).

3.3 Kuormitus ja väsymys kamppailulajeissa: paini

Miehet kilpailevat painissa kreikkalais-roomalaisessa ja vapaassa painityylissä. Naispainissa painitaan ainoastaan vapaapainissa. Painiottelut kestävät nykyisin kaksi (2) kolmen (3) minuutin erää, joiden välissä on 30 sekunnin tauko (United World Wrestling 2019). Molemmat

painityylit ovat kuormittavia sekä aerobisesti että anaerobisesti. Kreikkalais-roomalaisessa painissa ottelun sykekeskiarvo on yli 180 lyöntiä minuutissa ja otteluiden jälkeen mitattu laktaatti keskimäärin 15–21 mmol/l. Miesten vapaapainissa ottelun sykekeskiarvo on yli 170 lyöntiä minuutissa ja otteluiden jälkeen mitattu laktaatti keskimäärin 11–17 mmol/l. Puolestaan naispainissa sykekeskiarvo on yli 165 lyöntiä minuutissa ja otteluiden jälkeen mitattu laktaatti keskimäärin 10–14 mmol/l (Sarkkinen 2016, 546). Turnausvoittoon etenevälle painijalle otteluita tulee 1–2 päivän aikana 4–5 kappaletta. Sääntöjen mukaan lyhyin tauko, jonka painija saa otteluiden välissä on 20 minuuttia, mutta tauko voi kestää myös useita tunteja (United World Wrestling 2019). MM-kisoissa mitatuissa veren laktaattipitoisuusarvoissa ei ollut merkittävää eroa turnauksen ensimmäisen ottelun ja finaaliottelun välillä (Nilsson ym. 2002).

Kraemerin ym. (2002) tutkimuksessa painittiin kahden päivän simuloitu miesten vapaapainiturnaus, jossa ensimmäisenä päivänä painittiin kolme ottelua ja toisena päivänä kaksi ottelua. Tässä tutkimuksessa yhden ottelun kesto oli 5 minuuttia ja ennen turnausta painijat suorittavat lajille tyypillisen painonpudotuksen (edeltävän viikon aikana kehonpainoa pudotettiin keskimäärin 6 %:ia). Ennen otteluita mitatun kevennyshypyn (CMJ) nousukorkeus ei vaihdellut merkittävästi ensimmäisen päivän kolmen ottelun aikana, mutta toisena päivänä ennen otteluita mitattuna CMJ oli merkittävästi heikentynyt. Käden puristusvoima ja painijoille tyypillisen ”karhunhalausliikkeen” voimantuotto heikkeni otteluiden edetessä ennen ottelua mitattuna merkittävästi. Lihassoluvauriosta kertovan kreatiinikinaasin pitoisuus verenkierrossa kasvoi merkittävästi jokaisen ottelun jälkeen turnauksen edetessä (Kraemer ym. 2002). Vastaavanlaisessa Barbasiin ym. (2010) tutkimuksessa miehet painivat viisi simuloitua kreikkalais-roomalaisen tyylin ottelua (kuuden minuutin ottelut) yhden päivän aikana. Otteluiden aikainen keski-syke oli 85 %:ia mitatusta maksimissykkeestä, heti ottelun jälkeen mitattu syke oli 92–96 %:ia maksimissykkeestä ja keskimäärin korkein sykejakso ottelun aikana oli 96–98 %:ia maksimissykkeestä. Keskimääräinen veren laktaattipitoisuus otteluiden jälkeen mitattuna oli 17 mmol/l. Ylävartalon voiman suhteen havainnot olivat samankaltaisia Kraemerin ym. (2002) kanssa. Barbasiin ym. (2010) mukaan kädenpuristusvoima ja ”karhunhalaus” heikkenivät erityisesti turnauksen loppua kohden. Myös lantion ja selän voimaa mittaavassa liikkeessä ja CMJ:ssa havaittiin heikkenemistä turnauksen edetessä. Jokainen ottelu aiheutti selvän nousun adrenaliinin ja nonadrenaliinin pitoisuudessa verenkierrossa. Testosteronin pitoisuus laski turnauksen

edetessä ja vastaavasti kortisolin pitoisuus nousi. Myös kreatiinikinaasin pitoisuus verenkierrossa nousi turnauksen edetessä (Barbas ym. 2010).

Painissa tulee huomioida, että myös erien aikana tulee lyhyitä lepojaksoja. Koko ottelun ajan mitattuna tehokkaan painiajan ja lepoajan suhde on noin 3/1. Keskimäärin yksi tehokas työvaihe kestää noin 37 sekuntia, mitä seuraa keskimäärin noin 14 sekunnin lepovaihe (Nilsson ym. 2002). Painin ottelutilanteita voidaan pitää epäsäännöllisenä toistuvana intervallikuormituksena (Barbas ym. 2010).

4 PALAUTUMISEN MEKANISMEJA

Kuormitus aiheuttaa suorituskyvyn laskua eli väsymystä. Suorituskyvyn laskuun vaikuttaa kuormituksen määrä, sen intensiteetti ja käytetty lihastyötapo (Baird ym. 2011). Palautuminen yksinkertaistettuna tarkoittaa suorituskyvyn palautumista kuormitusta edeltävälle tasolle. Väsymys on monitahoinen ilmiö, johon vaikuttaa samanaikaisesti useita eri tekijöitä. Väsymystä selittää mm. energiantuottojärjestelmien kapasiteetin heikkeneminen, vähentynyt lihasten sentraalinen ohjaus, lihasten supistumisominaisuuksien heikkeneminen metabolisen ja mekaanisen kuormituksen takia ja psykologiset tekijät. Perifeerisessä lihasväsymyksessä kuormituksen yhteydessä energian ja metaboliittien saatavuus on riittämätöntä siihen vaatimukseen, mitä supistuvat lihakset vaativat. Tällöin lihasten motoriset yksiköt eivät pysty ylläpitämään vaadittua työtasoa (Baird ym. 2011).

Elimistön biologiset toiminnot, kuten lihastyö vaativat kemiallista energiaa. Ravinnon kautta nautittu kemiallinen energia siirtyy entsyymien säätelmissä reaktioissa adenosiinitrifosfaattiin (ATP). Lihassolujen toiminta perustuu ATP:sta saatavaan energiaan. Mitä nopeammin ATP:ta pystytään tuottamaan lihastyön energiaksi, sitä intensiivisempi suoritus on mahdollinen. ATP:ta tuotetaan monien eri energiajärjestelmien avulla. Pääasiassa energiantuottotavat voidaan jakaa aerobisiin, eli hapen avulla toteutuviin ja anaerobisiin, eli ilman happea toimiviin mekanismeihin. Eri energiantuottotavat toimivat päällekkäin samanaikaisesti, mutta kuormituksen intensiteetti ja kesto määrittelevät suhdetta, miten energiaa tuotetaan eri järjestelmien välillä. (Nummela 2016, 128–129.) Maksimaalisissa suorituksissa lihasten energiantarve on jopa 100-kertainen lepoenergiantarpeeseen verrattuna (Hochachka & Matheson 1992). Eri energiantuottotavoilla on rajallinen kapasiteetti tuottaa energiaa, joten suorituskyvyn palautumisen kannalta olennaista on, miten nopeasti energiantuottojärjestelmiä rajoittavat tekijät palautuvat kuormituksen päätyttyä.

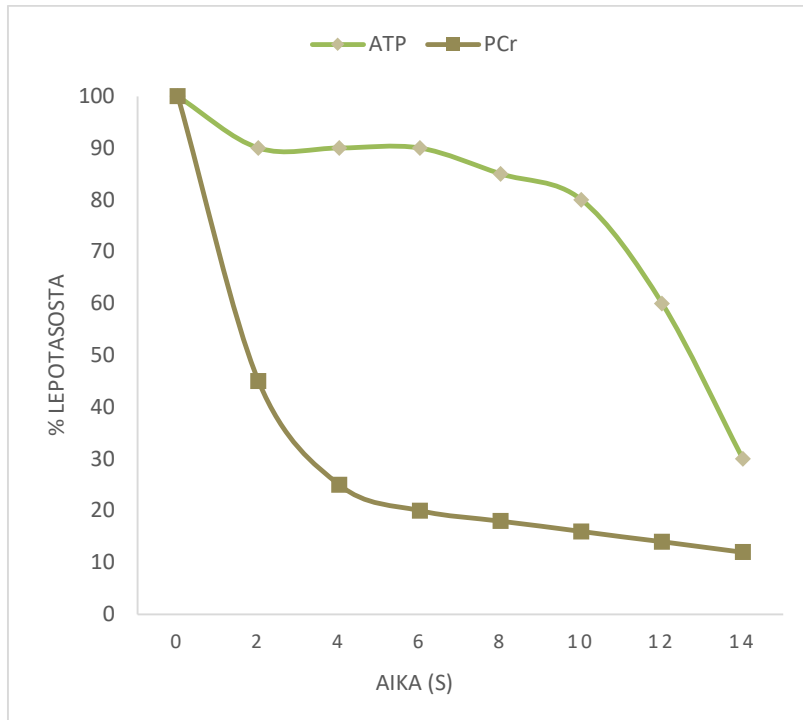
Taulukosta 1 nähdään miten eri energiantuottojärjestelmät jakautuvat erilaisten kuormitusten välillä. Mitä intensiivisempi suoritus on, sitä enemmän hyödynnetään anaerobisia energiantuottotapoja. Pidemmässä suorituksissa aerobisen aineenvaihdunnan rooli kasvaa.

TAULUKKO 1. Eri energiantuottotapojen osuus (%) ATP:n tuotosta maksimaalisissa juoksu-suorituksissa eri matkoilla. (mukailtu Newsholme ym. 1992)

Laji	Välitön ATP + PCr	Anaerobin glykolyysi	Aerobin glykolyysi	Veren gluukoosi (maksan glykogeeni)	Rasvahapot
60 m	90	10	-	-	-
100 m	50	50	-	-	-
200 m	25	65	10	-	-
400 m	12,5	62,5	25	-	-
800 m	6	50	44	-	-
1500 m	-	25	75	-	-
5000 m	-	12,5	87,5	-	-
10000 m	-	3	97	-	-
Maraton	-	-	75	5	20
80 km	-	-	35	5	60
24 tunnin kisa	-	-	10	2	88

4.1 Lihaksen ATP ja fosfokreatiini

Lihastyö, jota kovassa intensiivisessä suorituksessa vaaditaan, tarvitsee energialähteeksi välittömän ja tehokkaan tavan. Maksimaalisen suorituksen (all out) ensimmäisillä hetkillä hyödynnetään lihasten välittömiä ATP ja fosfokreatiinivarastoja, joita kutsutaan anaerobiseksi alaktiseksi energiantuottomekanismiksi (Taylor ym. 1986). Fosfokreatiini on ATP:n lisäksi toinen solunsisäinen energiaa sitova fosfaatti, joka luovuttaa nopeasti energiaa ATP:n uudelleenmuodostukseen. Fosfaattiyhdisteiden mahdollistama energiantuoton maksiminopeus on 4–8 kertaa aerobisen aineenvaihdunnan mahdollistamaa energiantuottoa suurempi (Taylor ym. 1986). Lihasten ATP ja fosfokreatiinivarastot kuluvat kuitenkin nopeasti loppuun (kuvio 2), sillä välittömät anaerobiset energiantuottotavat mahdollistavat maksimaalisen suoritustehon noin 5–8 sekunnin ajan ja loppuvat noin 20–30 sekunnin jälkeen maksimaalisessa yhtäjaksoisessa suorituksessa (Taylor ym. 1986).



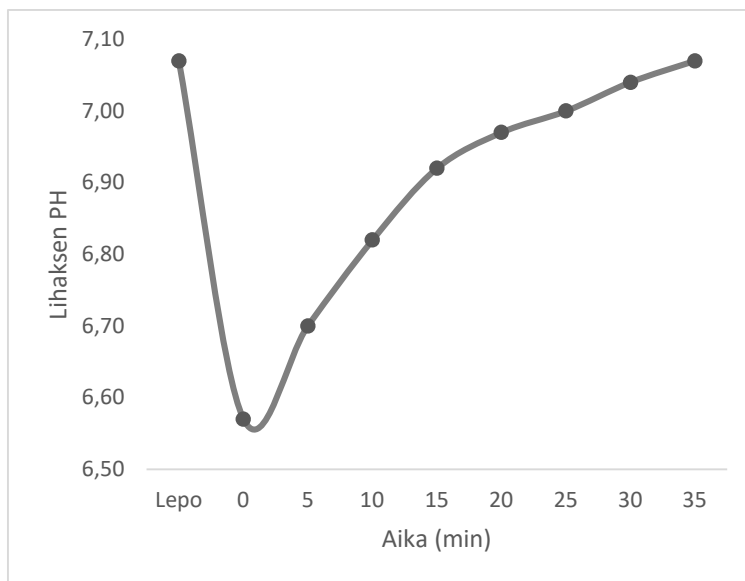
KUVIO 2. Lihaksen ATP:n ja PCr:n kulutus maksimaalisessa kuormituksessa (all out) (mukailltu McArdle ym. 2001, 223).

Alaktinen energiantuottojärjestelmä palautuu, kun solun sisäinen kreatiini pystyy kuormituksen päätyttyä jälleen fosforylaation ansioista yhdistymään fosfaattiryhmään, milloin muodostetaan fosfokreatiinia. Alaktisen energiantuottojärjestelmän palautuminen on yksilöllistä, mutta keskimäärin noin 30 sekunnin levon aikana 50 %:ia varastoista on palautunut ja 2–3 minuutissa varastot palautuvat lähelle lepotasoa (Kemp ym. 1993).

4.2 Anaerobinen glykolyysi

Kun lihasten välitön alaktinen energiantuotto ehtyy intensiivisen suorituksen jatkuessa, korostuu energiantuotossa anaerobisen glykolyysin rooli. Anaerobisen glykolyysin osuus on merkittävä kovatehoisissa maksimisuorituksissa, jotka kestävät 10 sekunnista kahteen minuuttiin (De Feo ym. 2003). Pidemmissäkin suorituksissa glykolyysin avulla tuotetaan energiaa, mutta tällöin aerobisen mekanismit vastaavat pääosin energiantuotosta. Myös esimerkiksi pidempien suoritusten loppukireissä glykolyysin avulla tuotetun energian osuus kasvaa (Fukuba & Whipp

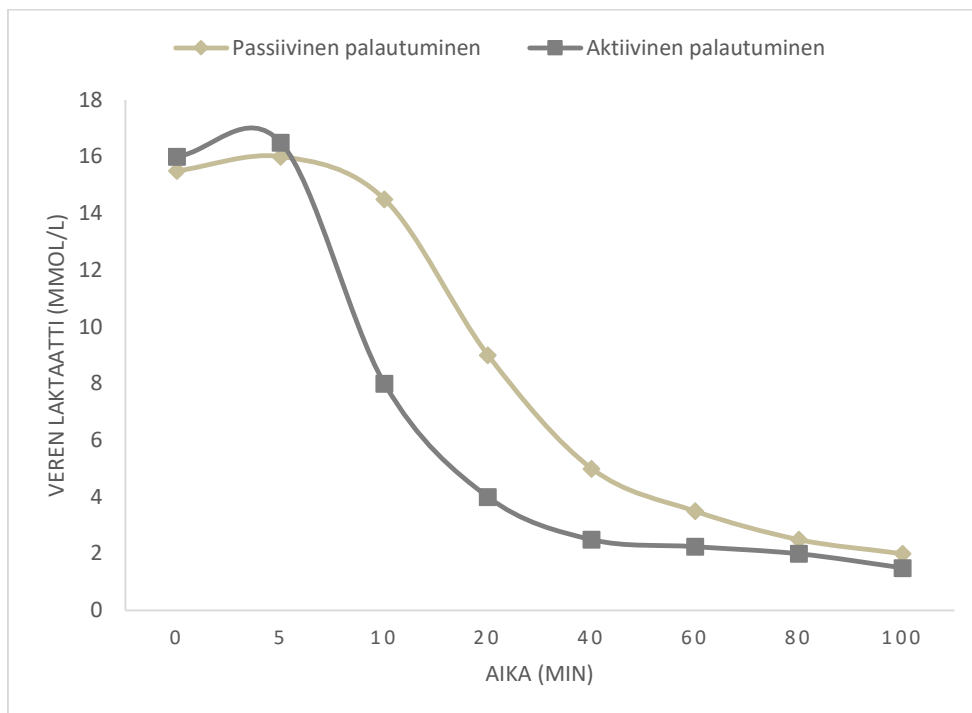
1999). Glykolyysissa ATP:n muodostuksessa hyödynnetään lihasten ja maksan glykogeenivara-
 rastoja, mikä johtaa samalla laktaatin muodostumiseen lihaksessa. Laktaattia muodostuu myös
 kevyemmässä kuormituksessa, mutta koska happea on riittävästi saatavilla, elimistö ehtii ha-
 pettaa laktaattia energiaksi, minkä vuoksi laktaatin poisto vastaa laktaatin muodostumista. In-
 tensiteetin ylittäessä aerobisen aineenvaihdunnan energiantuottokapasiteetin laktaatin muodos-
 tuminen ylittää elimistön kyvyn poistaa laktaattia (De Feo ym. 2003). Harjoittelemattomalla
 ihmisellä laktaattia alkaa kertymään noin 50–55 %:ia VO₂max:ia vastaavassa rasituksessa, kun
 puolestaan harjoitelleilla kertyminen alkaa suhteessa kovemalla intensiteetillä (Wyatt 1999).
 Aiemmin ajateltiin, että lisääntyvä laktaatti lihaksissa aiheuttaa väsymistä kuormituksessa,
 mutta itseasiassa lihakset ja esimerkiksi sydän hyödyntävät laktaattia energiana (Hogan ym.
 1995). Laktaatin nousu on kuitenkin yhteydessä muiden elimistön mekanismien kanssa, mitkä
 mahdollisesti aiheuttavat väsymystä kuten lihasten happamoituminen eli PH:n lasku (kuvio 3)
 ja vapaiden vetyionien (H⁺) kertyminen (Hogan ym. 1995). Koska laktaattia on helppo mitata
 verestä, voidaan sen avulla arvioida, miten anaerobisesti kuormittavaa rasitus on ollut.



KUVIO 3. Lihaksen happo-emästasapainon palautuminen lyhyen maksimaalisen kuormituksen
 (all out) jälkeen (mukaiiltu Liu ym. 2007).

Laktaatin palautuminen lepotasolle intensiivisen kuormituksen jälkeen on yksilöllistä, ja siihen
 vaikuttaa myös palautumisen aikana tehtävä aktiviteetti. Kevyen aerobisen työn noin 30–45

%:lla VO₂max tasolla on huomattu nopeuttavan laktaatin palautumista lepotasolle (McLellan & Skinner 1982). Keskimäärin laktaatti näyttää palautuvan lepotasoa vastaavaksi noin 90–120 minuuttia anaerobisesti intensiivisen kuormituksen jälkeen. Laktaatin palautumisesta voi huomata, että palautumisen alku on jyrkkää, ja merkittävä osa laktaatista poistuu ensimmäisten kymmenien minuuttien aikana (kuvio 4) (Weltman ym. 1977). Suorituskyvyn arvioinnin kannalta tulee huomioida, että laktaatti kulkee lihaksesta verenkiertoon viiveellä. Veren laktaatista ei voi siten suoraan arvioida lihaksen toimintakyvyn tilaa.



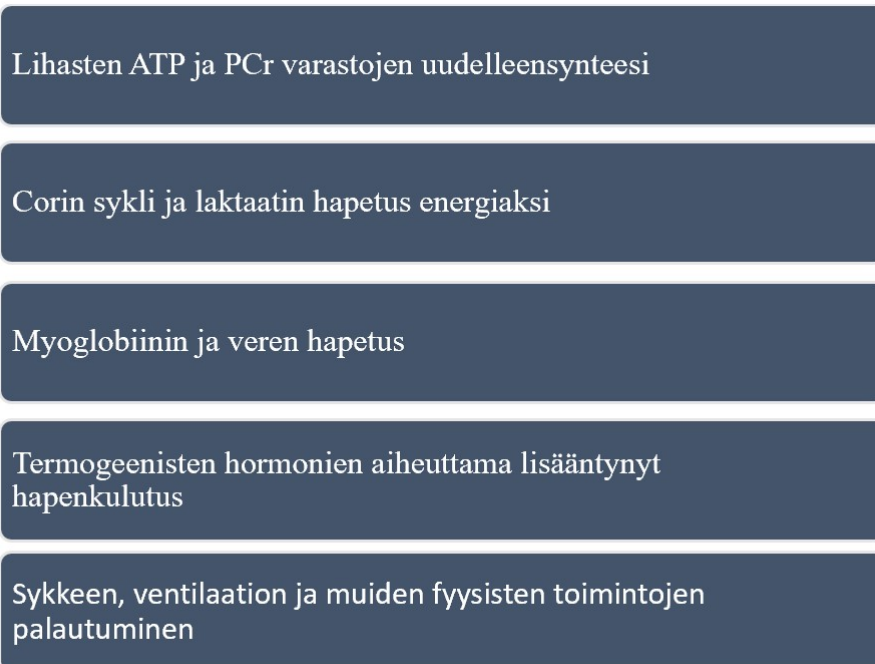
KUVIO 4. Laktaatin poistuminen verenkierrosta intensiivisen kuormituksen jälkeen (mukailtu McArdle ym. 2015, 173)

4.3 Aerobinen aineenvaihdunta

Kun kuormitus jatkuu useamman minuutin vastaa energiantuotosta pääosin aerobinen aineenvaihdunta. Aerobisella energiantuottotavalla energiantuottonopeus on anaerobisia tapoja hitaampaa, mutta energiantuottokapasiteetti on verraten suuri (McArdle ym. 2015, 163–164). Matalan intensiteetin aerobisessa kuormituksessa hyödynnetään energianlähteenä elimistön

rasvavarastoja, ja siksi energiansaataavuus ei ole suoritusta rajoittava tekijä. Intensiivisempi aerobinen työ tarvitsee energiaksi myös hiilihydraatteja, minkä vuoksi energiaksi käytetään lihasten ja maksan glykogeenivarastoja. Kun intensiivinen aerobinen kuormitus jatkuu, glykogeenivarastot ehtyvät (Gastin 2001).

On luonnollista että, mitä intensiivisempi aerobinen kuormitus on, sitä suurempi on myös hapen tarve. Tämä näkyy kohonneena hapenkulutuksena ja kasvaneena sydämen syketaajuutena. Kun kuormitus loppuu hapenkulutus ja syke eivät palaa lepotasolle välittömästi. Palautumiseen vaikuttaa kuormituksen tyyppi, kesto ja intensiteetti sekä toiminta palautumisen aikana (Nummela 2016, 137–138). Kuormituksen jälkeistä lepotason ylittävää hapentarvetta kutsutaan termillä EPOC (excess postexercise oxygen consumption). Kevyestä aerobisesta (noin 50 % VO₂max tasolla) kuormituksesta palautuminen on verraten nopeaa, sillä hapenkulutuksen on huomattu puoliintuvan jokaisen 30 sekunnin kuluessa palautumisen alkamisesta, kunnes lepotaso on saavutettu (Barstow 1994). Nopeaa hapenkulutuksen palautumisen vaihetta kutsutaan nopeaksi komponentiksi. Intensiivinen aerobinen kuormitus aiheuttaa suuremman EPOC:in, joka lisääntyy entisestään, jos kuormituksen intensiteetti vaatii myös anaerobisten energiatuottojärjestelmien käyttöä. Myös intensiivisemmän kuormituksen jälkeinen palautumisen alkuvaihe noudattaa edellä mainittua nopeaa komponenttia, joka kuitenkin hidastuu ja hapenkulutuksen lasku on vähäisempää palautumisen jatkuessa (Laforgia ym. 2006). Hapenkulutuksen palautumisen hitaampaa vaihetta kutsutaan hitaaksi komponentiksi. Intensiivisen kuormituksen jälkeistä hitaan komponentin palautumisvaihetta selitetään kuormituksen aiheuttamalla anaerobisella työllä, ruumiinlämmön nousulla ja lämpötilan säätelyyn liittyvien hormonien erityksen lisääntymisenä (Laforgia ym. 2006) (kuvio 5).



KUVIO 5. EPOC:ia kasvattaa usean eri fysiologisen ja aineenvaihdunnan mekanismin aiheuttama lisääntynyt hapentarve (Bahr ym. 1990; Gore ym. 1990; Bahr ym. 1992).

Harjoitelleilla hapenkulutuksen palautuminen lepotasolle on nopeampaa (Short & Sedlock 1997). Sykkeen palautuminen intensiivisen kuormituksen jälkeen mukaillee hapenkulutusta. Ensimmäiset noin kaksi minuuttia on sykkeen palautumisen nopeaa vaihetta, milloin se mukaillee eksponentiaalista laskua. Syke ei kuitenkaan saavuta lepotasoa nopean vaiheen jälkeen, vaan sitä seuraava sykkeen palautumisen hidas vaihe kestää kymmeniä minuutteja ennen lepotason saavuttamista. Sykkeen nousua rasituksen alkaessa selittää sympaattisen hermoston aktivaatio ja parasympaattisen hermoston vaikutuksen lakkaaminen. Palautumisvaiheessa tilanne on päinvastainen, eli sympaattisen hermoston aktivaatio laskee ja parasympaattinen hermosto aktivoituu (Pierpont ym. 2000). Sykkeen palautumisen akuutti vaihe näyttää olevan nopeampaa henkilöillä, joiden aerobinen kapasiteetti on suurempi (Darr ym. 1988).

4.4 Glykogeenivarastot

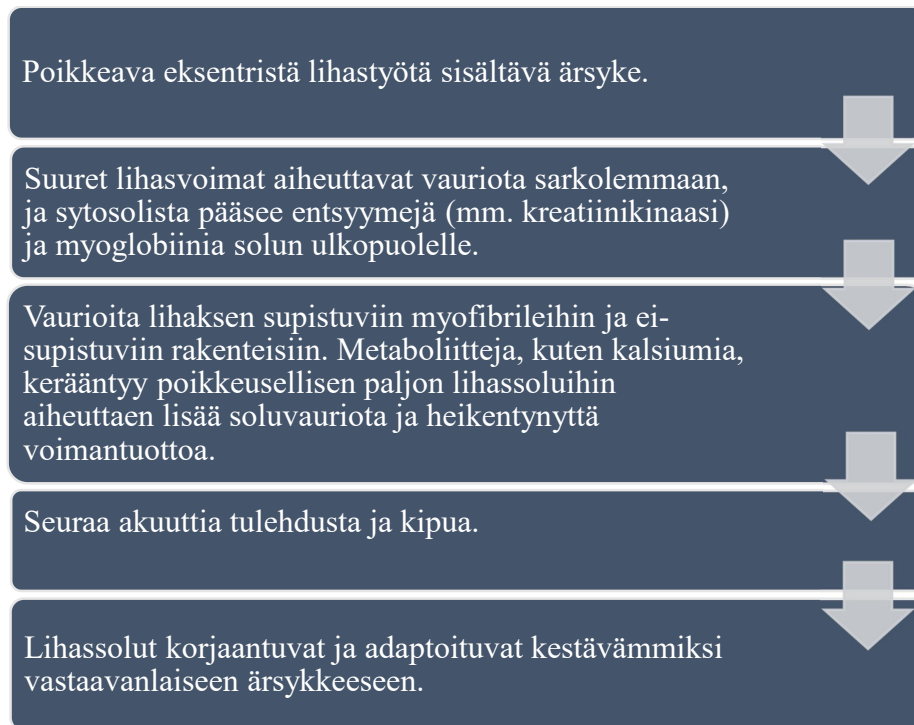
Glykogeneeni on olennainen energiaa sitova substraatti, jonka avulla muodostetaan ATP:ta intensiivisessä kuormituksessa. Glykogeneenia on noin 100 grammaa maksassa ja 250–700 grammaa lihaksissa. Glykogeenin määrä on kuitenkin hyvin yksilöllistä ja siihen vaikuttaa mm. lihasmassan määrä, lihassolujakauma, harjoitustila ja sukupuoli (Knuiman ym. 2015). On huomattu, että kun lihasglykogeenin määrä putoaa alle 250–300 mmol/kg tasolle, on seurauksena maksimaalisen voimantuoton heikkenemistä ja suorituskyvyn laskua (Ivy 1998; Ørtenblad ym. 2013).

Palautumisen kannalta glykogeenivarastojen täyttäminen on olennaista. Ehtyneiden glykogeenivarastojen tehokas täyttäminen vaatii välitöntä ja runsasta hiilihydraattien nauttimista, kerrollaan vähintään yksi gramma painokiloa kohden, mitä toistetaan kahden tunnin välein (Ivy 1998). Runsaalla 500–600 gramman hiilihydraattitankkauksella voidaan ehtyneet glykogeenivarastot saada täyteen 24 tunnissa. Ørtenblad ym. (2011) huomasivat, että neljä tuntia tankkauksen alkamisesta lihasten glykogeenivarastot ovat merkittävästi täyttyneet. Kun ehtyneiden glykogeenivarastojen täyttäminen aloitetaan heti riittävällä hiilihydraatin nauttimisella, palautuu ensimmäisen kahden tunnin aikana glykogeneenia lihaksiin noin 6–7 $\mu\text{mol/g/tunnissa}$. Koska veren glukoosipitoisuus ja insuliini laskevat tämän jälkeen kuormitusta edeltäneelle tasolle, jatkuu glykogeenin täytyminen noin 3–4 $\mu\text{mol/g/tunnissa}$ tahtia, kunnes varastot ovat täyttyneet (Ivy 1998).

4.5 DOMS ja lihassoluvauriot

Uudenlainen tai poikkeava harjoitusärsyke aiheuttaa harjoittelun jälkeen ilmenevää lihasten arkuutta DOMS (delayed-onset muscle soreness). DOMS:in (kuvio 6) aikana havaitaan tyypillisesti lihassoluvaurioita, lisääntyntä koettua kipua, lihastoiminnan häiriötä ja voimantuoton heikkenemistä (Smith 1992). Näiden määrä riippuu tehdyn kuormituksen tyypistä, kestosta ja intensiteetistä (Hyatt & Clarkson 1998). On huomattu, että harjoitteet, joissa lihakset työskentelevät vahvasti eksentrisessä liikkeessä, aiheuttavat suurinta DOMS:ia (Walsh ym. 2001). DOMS alkaa tyypillisesti muutama tunti harjoittelun päätyttyä ja kestää noin 3–4

päivää (Smith 1992). Se miten mekaaninen ja metabolinen kuormitus aiheuttaa vaurioita lihaksiin, ei ole vielä täysin selvillä. Mahdollisia mekanismeja ovat lisääntynyt oksidatiivinen stressi, tulehdustekijät ja immunologiset reaktiot (Baird ym. 2011).



KUVIO 6. DOMS ja lihassoluvaurioiden eteneminen (mukailtu McArdle ym. 2015, 540).

Lihassoluvaurioiden yhteydessä solukalvoon tulee repeämiä, ja solun sytosolista vapautuu nestettä verenkiertoon. Lihassoluvaurioiden yhteydessä kreatiinikinaasin ja myoglobiinin pitoisuudet verenkierrrossa nousevat, ja niiden avulla voidaan arvioida epäsuorasti lihassoluvaurioiden määrää (Gomes ym. 2020). Lihassoluvaurioita voidaan tarkastella magneetti- ja ultraäänikuvaustekniikoilla sekä lihasbiopsian avulla. Vaikutuksia suorituskykyyn voidaan seurata erilaisilla voimamittauksilla. Lihaskivun määrää ja sen palautumista voidaan seurata subjektiivisilla kyselyillä. Koska vaurioiden määrään ja toimintakyvyn heikkenemiseen vaikuttaa sekä kuormitus että harjoittelijan ominaisuudet, on palautuminen yksilöllistä (Gomes ym. 2020). Jo yhden lihassoluvaurioita aiheuttavan harjoituksen jälkeen, kun elimistö on siitä palautunut, sen on huomattu adaptoituvan monen viikon ajaksi kestävämmään vastaavia harjoituksia ilman vastaavia lihassoluvaurioita (Byrnes ym. 1985).

Näyttää siltä, että harjoittelun aiheuttamat muutokset lihasten rakenteessa palautuvat harjoitusta edeltäneeseen tilaan noin 7–9 päivää kuormituksesta (Baird ym. 2011). Peaken ym. (2016) mukaan lihassoluvaurioiden aiheuttama sarkomeerien ja niiden Z-levyjen häiriöt ovat suurimmillaan 1–3 päivään kuormituksen jälkeen, mutta näkyvät vielä 6–8 päivän päästä lihasbiopsiassa. Suurimmat kreatiinikinaasipitoisuudet ajoittuvat tyypillisesti 3–5 päivään kuormituksen jälkeen, milloin myös lihaskipua havaitaan (Baird 2011). Lihassoiman palautumisen nopeudesta on huomattu, että kuormituksessa, jonka jälkeen lihasvoima heikkenee akuutisti vähemmän kuin 20 %:ia, tapahtuu palautuminen lepotasolle noin kahdessa päivässä (Cook & Beaven 2013). Puolestaan raskaan eksentrisen kuormituksen jälkeen, minkä yhteydessä lihasvoima heikkenee akuutisti 50 %:ia tai enemmän, voi palautuminen kestää jopa seitsemän päivää (Nosaka ym. 2001).

4.6 Hormonit

Endokriininen järjestelmä säätelee elimistön toimintoja ja stabilisoi elimistön tilaa. Endokriinisten rauhasien tuottamia hormoneita kuljetetaan verenkiertoelimistön välityksellä kohde-elimien. Kohde-elimessä hormonit sitoutuvat reseptoreihin saaden aikaan soluvasteen säätelemällä geenien ja entsyymien toimintaa (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 140). Hormonit vaikuttavat entsyymiaktiivisuuteen, solukalvojen läpäisevyyteen, lihasten toimintaan ja aineenvaihduntaan. Rasituksessa hormonit säätelevät mm. lihasten energiansaantia, verenkiertoelimistön toimintaa ja nestetasapainoa (Kraemer & Ratamess 2005). Fyysinen kuormitus aktivoi monien eri hormonien eritystä. Harjoittelu aiheuttaa akuutteja muutoksia hormonipitoisuuksissa ja pitkäaikainen harjoittelu aiheuttaa pysyviä muutoksia monien hormonien pitoisuuksissa (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 140). Absoluuttisesti samassa kuormituksessa urheilijoiden hormonivasteet ovat tyypillisesti pienempiä kuin kuntoilijoilla (Kraemer & Ratamess 2005). Suhteellisesti samassa kuormituksessa urheilijoiden akuutit hormonivasteet voivat puolestaan olla suurempia kuin kuntoilijoilla (Hackney ym. 2012). Yleisesti akuutit harjoittelun yhteydessä huomattavat hormonivasteet näyttävät vaimenevan pitkäaikaisen harjoittelun seurauksena (Kraemer & Ratamess 2005). Kuormituksen aiheuttamiin hormonivasteisiin vaikuttaa kuormitustyyppin, kuormituksen keston ja intensiteetin lisäksi harjoitustila, ikä ja sukupuoli (Kraemer & Ratamess 2005).

Kasvuhormoni edistää lihaskasvua, stimuloi lipolyysia ja estää hiilihydraattien hajoamista (Godfrey ym. 2003). Kasvuhormonia erittyy voimakkaasti etenkin hypertrofisen voimaharjoittelun yhteydessä, milloin verestä mitattu kasvuhormonipitoisuus nousee lepotasosta jopa kymmenkertaiseksi (McArdle ym. 2015, 417). Kasvuhormoni palautuu lepotasolle noin 1–2 tuntia kuormituksen päättymisestä. Pitkäaikaisen harjoittelun on kuitenkin huomattu vaimentavan merkittävästi kuormituksen aiheuttamia akuutteja kasvuhormonivasteita (Weltman ym. 1997).

Mieshormoni testosteronin ja fyysiseen sekä psyykkiseen stressiin reagoivan kortisolin suhdetta tarkastellaan usein harjoittelun seurannan yhteydessä. Testosteronin ja kortisolin välistä suhdetta voidaan pitää eräänlaisena mittarina elimistön anabolisesta tilasta (Hayes ym. 2015). Testosteronin noustessa, kortisolin pitoisuus tyypillisesti laskee ja päinvastoin (Hayes ym. 2015). Testosteroni on kasvuhormonin ohella tärkein hormoni, joka vaikuttaa anabolisiin adaptaatioihin elimistössä (West & Phillips 2011). Lisäksi testosteroni lisää veren punasoluja ja vähentää kehon rasvoja. Naisten testosteronipitoisuudet ovat keskimäärin kymmenesosa miesten vastaavista (Maïmoun ym. 2013). Kortisoli puolestaan edistää rasvahappojen käyttöä ja lisää katabolisia reaktioita (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 141). Vastusharjoittelu aiheuttaa tyypillisesti piikin testosteronipitoisuudessa ja laskun kortisolipitoisuudessa (Kraemer ym. 1999). Vastusharjoittelun jälkeen testosteroni ja kortisoli palautuvat lepoarvoihin noin 90–120 minuutissa (Kraemer ym. 1991). Intensiivinen kestävyysharjoittelu aiheuttaa pienen testosteronin nousun ja vahvan kortisolin nousun. Nämä kuitenkin laskevat noin kaksi tuntia harjoituksen päätyttyä ja näyttävät laskevan lepotason alle vuorokausi kuormituksen jälkeen mitattuna (Daly ym. 2005). Puolestaan Bonifazin ym. (1995) mukaan kuormittava kestävyysharjoitus näyttää aiheuttavan noin 50–70 %:n testosteronin ja kortisolin nousun lepoarvoista. Tutkimuksen mukaan testosteroni palautuu takaisin lepotasolle noin tunnissa ja kortisoli noin kahdessa tunnissa. Säännöllinen vastusharjoittelu näyttää aiheuttavan testosteronin lepoarvojen nousua (Häkkinen ym. 2000).

Katekoliamiineihin kuuluvia adrenaliinia ja noradrenaliinia erittyy fyysisen kuormituksen yhteydessä. Ne lisäävät sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja säätelevät verisuonistoa (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 141). Adrenaliini stimuloi glykogenolyysia eli glykogeenin pilkkomista glukoosiksi ja noradrenaliini stimuloi lipolyysia (Febbraio ym. 1998). Molempien erityis

lisääntyy merkittävästi (1.5–20 kertaiseksi) jo lyhyen kestävyyskuormituksen jälkeen ja erityis on suhteessa kuormituksen intensiteettiin (Greiwe ym. 1999). Puolestaan McArdlen ym. (2015, 422) mukaan erityis olisi hieman maltillisempaa: pyöräilykuormituksessa adrenaliinin erityis alkaisi noin 75 %:in tasolla VO₂max:sta nousten tasaisesti maksimaalista hapenottoa lähestyessä. Puolestaan noradrenaliinin erityis alkaisi noin 50 %:n tasolla VO₂max:sta jatkaen myös nousuaan maksimihapenottoa lähestyttäessä nousten noin 2–6 kertaiseksi lepotasosta. Katekoliamiinien palautuminen kuormitusta edeltäneelle tasolle on melko nopeaa, sillä lepotoso saavutetaan noin 10–20 minuutissa (Greiwe ym. 1999). Myös vastusharjoittelu aiheuttaa merkittävän vasteen adrenaliinin ja noradrenaliinin erityksessä (Bush ym. 1999).

Haiman tuottama insuliini kiihdyttää hiilihydraattiaineenvaihduntaa, laskee veren glukoosia ja lisää rasva- ja aminohappojen kuljetusta soluihin (Häkkinen & Ahtiainen 2016, 142). Insuliini edistää glukoosin pääsyä soluun energiaksi. Insuliinin erityis reagoi verensokerin vaihteluun. Kuormituksen aikana insuliinin erityis laskee melko tasaisesti kuormituksen edetessä (Kraemer & Ratamess 2005). Katekoliamiinien lisääntynyt erityis kuormituksessa inhiboi insuliinin eritystä, sillä vaikka suorituksen aikana tankataan hiilihydraatteja, insuliinin erityis lisääntyy maltillisesti (Borghouts & Keizer 2000). Fyysisen harjoittelun on huomattu parantavan insuliiniherkkyyttä, mikä näkyy säännöllisesti harjoitelleilla lisääntyneenä insuliinin laskuna kuormituksen aikana (Kraemer & Ratamess 2005).

5 AEROBISEN KAPASITEETIN VAIKUTUS PALAUTUMISEEN

Aerobinen kapasiteetti näyttää vaikuttavan palautumisen nopeuteen, kun tehdään suhteelliselta rasittavuudeltaan (oma maksimiteho) samoja HIIT- ja repeated sprint -tyyppisiä kuormituksia (Tomlin & Wenger 2001). Nopeampi palautuminen toistuvien suoritusten välillä ja akuutisti suorituksen jälkeen perustuu suuremmalle suorituksen aikaiselle hapen hyödyntämiselle, mikä säästää anaerobisia energiantuottojärjestelmiä. Myös palautumisen aikana suuremman aerobisen kapasiteetin omaava pystyy hyödyntämään enemmän happea. Tämä näyttää mahdollistavan nopeamman laktaatin ja vetyionien poiston lihaksistosta ja nopeuttaa lihaksen ATP:n ja fosfokreatiinin palautumista, mikä näkyy nopeampana tehontuotto-ominaisuuksien palautumisena (Tomlin & Wenger 2001). Suuremman aerobisen kapasiteetin omaavilla on myös viitteitä tehokkaammasta lämpötilan säätelystä kuormituksesta palautumisen aikana (Baum ym. 1976).

Yleisesti lihaksen palautumisen kuormituksesta voi jakaa nopeaan (sekunneista muutamaan minuuttiin) ja hitaaseen (kymmenistä minuuteista päiviin) vaiheeseen. Nopeassa vaiheessa lihaksen ATP ja fosfokreatiini palautuvat merkittävästi (Hultman ym. 1967). Lisäksi sydämen syke ja hapenkulutus laskevat nopeasti, jääden kuitenkin lepotasoa ylemmäksi. Hitaassa vaiheessa hieman koholla olevat syke ja hapenkulutus laskevat hiljalleen kohti lepotasoa. Koholla oleva hapenkulutus palautumisen aikana on yksi mekanismeista, joka mahdollistaa aineenvaihdunnan prosessien palautumisen lepotasolle (Gaesser & Brooks 1984). Tällöin kertynyt laktaatti ja H⁺ poistuvat lihaksesta. Hitaan vaiheen aikana kuormituksen vaikutuksesta kohonnut ruumiinlämpö laskee ja lisääntyneen katekoliamiinien erityys vaimenee sekä lihasten maksan glykogeenivarastot täydentyvät.

Aerobisen kapasiteetin merkitys näyttää korostuvan, kun intensiivisiä kestävyyskuormituksia toistetaan lyhyellä palautusajalla. Koska suuremman aerobisen kapasiteetin omaava pystyy hyödyntämään suhteellisesti yhtä kuormittavassa suorituksessa ja sen palautumisessa enemmän happea energiantuotossa, säästyy enemmän anaerobisten mekanismien avulla tuotettavaa energiaa (Thoden 1991). Tämä on huomattu analysoimalla repeated sprint -tyylisiä kuormituksia eri aerobisen kapasiteetin omaavien välillä. Suuremman aerobisen kapasiteetin omaavat hyödyntävät enemmän happea, vaikka vedoissa saavutettu huipputeho on sama (Hamilton ym.

1991). Kun intensiivisiä vetoja toistetaan lyhyellä palautuksella näyttää suuremman aerobisen kapasiteetin omaavien voimantuotto-ominaisuudet palautuvan nopeammin vetojen välillä. Suuremman aerobisen kapasiteetin omaavilla toistuvien suoritusten teho säilyy korkeampana (Bogdanis ym. 1995). Sedlock (1994) tutki aerobisen kapasiteetin vaikutuksia suorituksen jälkeiseen lisääntyneeseen hapenkulutukseen (EPOC). Tutkimuksessa huomattiin, että vaikka EPOC:in kokonaismäärä olisi sama, on suuremman aerobisen kapasiteetin omaavilla EPOC:in palautumisen nopea vaihe on suurempi. Tällöin myös EPOC:in palautuminen on kokonaisuudessaan nopeampaa. (Sedlock 1994)

Nopeampaa suorituskyvyn palautumista toistuvista intensiivisistä kuormituksista korkeamman aerobisen kapasiteetin omaavilla selittää lihaksen ATP:n ja fosfokreatiinin palautuminen. Näiden palautuminen mahdollistaa nopean ja tehokkaan energiantuottotavan intensiivisissä suorituksissa. Suuremman aerobisen kapasiteetin on huomattu edistävän fosfokreatiinin palautumista kuormituksen päätyttyä. Fosfokreatiinin palautumisnopeutta kontrolloi hapen määrä lihaksessa (Taylor ym. 1983).

Anaerobinen kuormitus kerryttää lihaksiin laktaattia, vapaita vetyioneja (H^+) ja aiheuttaa elimistön happamoitumista. Suuremman aerobisen kapasiteetin omaavilla näyttää laktaatinpoisto olevan nopeampaa (Bassett ym. 1991). Ilmiön on huomattu korostuvan, kun kuormituksen jälkeen käytetään aktiivisia palautumismenetelmiä (Taoutaou ym. 1996). Tätä voi selittää suurempi verivirtauksen määrä, joka on yhteydessä aerobiseen kapasiteettiin (Tesch & Wright 1983). Suurempi aerobinen kapasiteetti on myös yhteydessä lihasten suurempaan hiusverisuonitukseen (Anderson & Hendriksson 1977) ja verisuonien tehokkaampaan laajenemisen säätelyyn (Sinoway ym. 1983). Suurempi verivirtaus ja muut suuremman aerobisen kapasiteetin yhteydessä huomattavat mekanismit mahdollisesti nopeuttavat myös muiden metaboliittien, kuten H^+ , poistoa lihaksista (Tomlin & Wenger 2001).

Watson ym. (2017) tutkivat aerobisen kapasiteetin vaikutusta sydämen sykkeen palautumiseen akuutisti kuormituksen jälkeen. Koehenkilöinä toimi 45 miesurheilijaa. Suoran juoksumatton testin jälkeen, jossa urheilijoiden aerobinen kapasiteetti mitattiin, seurattiin heidän sykkeen palautumista viiden minuutin ajan kevyessä kävelyssä. Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään

(korkeampi VO₂max ja matalampi VO₂max) aerobisen kapasiteetin perusteella. Tutkimuksessa huomattiin, että syke palautui suhteessa nopeammin korkeamman aerobisen kapasiteetin ryhmällä kymmenen sekunnin ($r = -0.34$, $p = 0.001$) ja 30:n sekunnin ($r = -0.28$, $p = 0.008$) aikana kuormituksen päättymisestä. Minuutin ja siitä pidemmän palautumisen aikana ei eroa ryhmien välillä ollut.

Seilerin ym. (2007) tutkimuksessa vertailtiin kahden eri aerobisen kapasiteetin omaavan koe-ryhmän (VO₂max (ml/kg/min): 72 ± 5 ja 60 ± 5) autonomisen hermoston palautumista kestävyyskuormituksen jälkeen. Koehenkilöt suorittivat yli anaerobisella kynnyksellä (95–100 % VO₂max vastaavalla teholla) 6 x 3 minuutin juoksumattokuormituksen kahden minuutin tauoilla vetojen välissä. Korkeamman aerobisen kapasiteetin omaavilla sykevälivaihtelu palautui kuormitusta edeltävälle tasolle noin 30 minuutissa, kun vastaavasti matalamman aerobisen kapasiteetin ryhmällä tähän meni 90–120 minuuttia. Korkeamman aerobisen kapasiteetin omaavalla ryhmällä mitattiin myös sykevälivaihtelun palautumista matalan intensiteetin kuormituksessa, joka tehtiin alle aerobisella kynnyksellä. Tämän osalta huomattiin, että kuormituksen kestolla ei ollut väliä, sillä koehenkilöiden sykevälivaihtelu palautui kuormitusta edeltäneelle tasolle noin viidessä minuutissa sekä 60 minuutin että 120 minuutin kuormituksen jälkeen.

Stanulan ym. (2014) tutkimuksessa 24 jääkiekkoilijaa suoritti luistelemalla kuusi 89 metriä pitkää maksimaalista sprinttiä 30 sekunnin palautuksella sprinttien välillä. Kuormituksesta aiheutuneen väsymyksen takia jokainen sprintti oli edellistä hitaampi. Kun väsymistä verrattiin koehenkilöiltä mitattuun VO₂max arvoon, huomattiin että keskimäärin korkeamman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavat väsyivät suhteessa vähemmän kuin matalamman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavat koehenkilöt ($r = -0.584$, $p = 0.003$). Bellar ym. (2015) tutki aerobisen kapasiteetin vaikutusta tyypillisessä Crossfit-harjoitteessa, johon osallistui 32 koehenkilöä. Harjoitteessa pyrittiin tekemään mahdollisimman monta kierrosta 12 minuutin aikana. Kierrokseen kuului kolme erilaista 12 kertaa toistettavaa harjoitetta. Aerobisen kapasiteetin ja tehtyjen kierrosten määrässä huomattiin selvä yhteys: suuremman aerobisen kapasiteetin omaavat koehenkilöt pystyivät tekemään enemmän kierroksia ($r = 0.427$, $p = 0.05$). Kamppailulajeissa judossa ja brasilialaisessa jujutsussa (BJJ) näyttää siltä, että suurempi aerobinen kapasiteetti lisää teknistaktisten liikkeiden kuten heittojen ja luovutusotteiden frekvenssiä simuloituissa otteiluissa (judo-ottelu 5 minuuttia, BJJ ottelu 10 minuuttia) (Coswig ym. 2018).

6 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tässä tutkimuksessa pyritään simuloimaan kamppailulajiotteluiden tyypillistä kestoja, sekä jäljittämään otteluiden intensiteettiä kestävyysuorituksen osalta. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää aerobisen kapasiteetin vaikutusta intensiivisestä kestävyyskuormituksesta palautumiseen kuormitusta seuraavana päivänä.

1. Vaikuttaako aerobinen kapasiteetti kamppailijoiden hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksien palautumiseen vuorokauden palautumisajan jälkeen intensiivisestä kestävyyskuormituksesta?

- Hypoteesi: Aerobinen kapasiteetti vaikuttaa kamppailijoiden hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksien palautumiseen. Hermolihasjärjestelmän palautuminen lyhyellä aikavälillä (ensimmäisen tunnin aikana) suhteellisesti yhtä raskaasta intensiivisestä suorituksesta näyttää olevan nopeampaa henkilöillä, joiden aerobinen kapasiteetti on suurempi (Tomlin & Wenger 2001). Tämä johtuu suhteessa suuremmasta aerobisen työn osuudesta energiantuottomekanismina kuormituksen aikana ja sen jälkeen (Thoden 1991) sekä tehokkaammasta laktaatin poistosta (Bassett ym. 1991) ja nopeammasta PCr:n palautumisesta (Taylor ym. 1983). Toisaalta aerobisen kapasiteetin vaikutusta pidemmän aikavälin palautumiseen suhteellisesta kuormituksesta on tutkittu hyvin vähän. Lyhyen aikavälin palautumisen yhteydessä havaituilla ilmiöillä ei ole mahdollisesti vaikutusta pidemmän aikavälin palautumiseen.

2. Vaikuttaako aerobinen kapasiteetti kamppailijoiden kestävyysuorituskyvyn palautumiseen vuorokauden palautumisajan jälkeen intensiivisestä kestävyyskuormituksesta?

- Hypoteesi: Aerobinen kapasiteetti vaikuttaa kamppailijoiden kestävyysuorituskyvyn palautumiseen. Hermolihasjärjestelmän palautumisen osalta suurempi aerobinen kapasiteetti näyttää ainakin lyhyellä aikavälillä edistävän palautumista. Tämä perustuu siihen, että suuremman aerobisen kapasiteetin omaava työskentelee suhteessa enemmän kuormituksessa aerobisesti ja suurempi aerobisen energiantuoton osuus jatkuu myös palautumisen alkuvaiheessa (Thoden 1991). Lisäksi laktaatin poisto ja PCr:n palautuminen ovat akuutisti nopeampaa (Bassett ym.

1991; Taylor ym. 1983). Hengitys- ja verenkiertoelimistön palautumisen osalta on huomattu, että ensimmäisten kymmenien sekuntien aikana kuormituksen päättymisestä korkeamman aerobisen kapasiteetin omaavien syke palautuu nopeammin, mutta minuutin ja siitä pidemmän ajan osalta ei havaittu eroja sykkeen palautumisnopeudessa eri aerobisen kapasiteetin omaavien välillä (Watson ym. 2017).

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

7.1 Tutkittavat

Tutkimuksen tutkittavat olivat 22–44-vuotiaita miehiä. Tutkittavien tuli olla terveitä, eikä heillä saanut olla suorituskykytestaukseen vaikuttavia sairauksia tai vammoja. Tutkimukseen otettiin mukaan kamppailulajien harrastajia brasilialaisesta jujutsusta, lukkopainista, painista ja hokutoryu jujutsusta. Tutkimukseen haluttiin saada hapenotoltaan eritasoisia tutkittavia, joten tutkimukseen rekrytoitiin sekä harrastelijoita että kilpatason kamppailijoita. Karkeasti arvioituna tutkittavat jakautuivat noin puoliksi harrastajiin ja kilpaurheilijoihin. Tarkempi profilointi on haastavaa, sillä osaa kilpailijoista voidaan pitää kilpailevina kuntoilijoina. Tutkittavien tyypillisiä harjoitusmääriä ei kartoitettu tarkemmin ennen tutkimusta. Yleisesti tutkittavien harjoittelumääriä voidaan kuvailla heidän kertomansa mukaan. Tutkittavien viikkoharjoitusmäärät vaihtelivat harrastajien 2–3 harjoituskerrasta aina kilpaurheilijoiden noin kymmeneen harjoituskertaan viikossa.

Rekrytointi toteutettiin Jyväskylän alueen kamppailulajiseuroille lähetetyillä rekrytointikirjeillä sähköpostitse. Tutkittavien lukumäärä (n) oli lopulta 20 henkilöä. Tutkimuksen alussa tutkittavat täyttivät terveys selvityksen ja suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta. Tutkittavien taustatiedot on esitetty taulukossa 2. Kaikki 20 tutkittavaa suorittivat kolme tutkimuskertaa onnistuneesti.

TAULUKKO 2. Tutkimuksen tutkittavien taustatiedot. Ikä, pituus ja paino esitettynä muodossa: keskiarvo \pm keskihajonta. n = tutkittavien määrä.

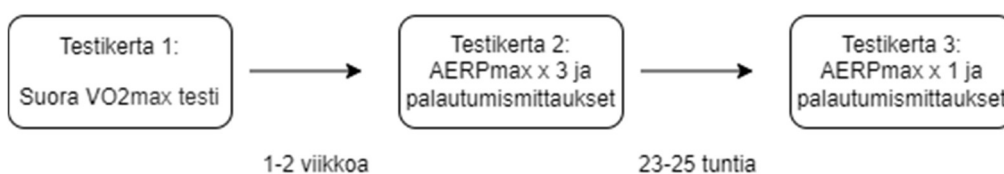
n	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)
20	29.7 \pm 5.7	179.6 \pm 7.9	85.5 \pm 11.4

Tämä tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopistossa vuoden 2021 aikana. Tutkimuksesta tehtiin lausuntopyyntö Jyväskylän yliopiston eettiselle toimikunnalle ennen tutkimuksen aloittamista. Eettinen toimikunta antoi tälle tutkimukselle puoltavan lausunnon (866/13.00.04.00/2021).

7.2 Tutkimusasetelma

Jotta palautumisvaikutuksia päästiin tutkimaan, valittiin kuormitustavaksi polkupyöräergometrillä tehtävä kuormitus. Pyöräergometrillä tutkittaville pystyttiin toteuttamaan vakioitu kuormitusmalli, joka mahdollisti omaan aerobiseen kapasiteettiin suhteutettuna yhtä raskaan kuormituksen tutkittavien välillä. Kuormitusmalliksi valittiin suoran hapenoton testin perusteella määritetyllä aerobisella maksimiteholla kuormitus uupumukseen asti (AERPmax). Tätä voi perustella aiempien tutkimusten havainnoilla uupumisajasta. Camusin ym. (1988) tutkimuksessa polkupyörällä ergometrillä uupumus tuli harjoitelleilla miehillä keskimäärin ajassa 5 minuuttia 50 sekuntia. Puolestaan vastaavassa kuormituksessa Messonnier ym. (2002) uupumisaika vaihteli noin 3–7 minuutin välillä. Tämä osuu sopivasti kamppailuotteluiden profiiliin, sillä esimerkiksi painiottelussa otellaan kaksi kolmen minuutin erää 30 sekunnin palautuksella (United World Wrestling 2019).

Tutkimuksessa yhden tutkittavan mittaukset kestivät noin 1–2 viikkoa. Mittauskertoja yhdelle tutkittavalle tuli yhteensä kolme. Testit suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorion tiloissa. Kuviosta 7 nähdään, miten tutkimuskerrat etenivät.



KUVIO 7. Tutkimuksen kulku. VO₂max = maksimaalinen hapenotto. AERPmax = aerobisella maksimiteholla suoritettu kuormitus uupumuksen asti polkupyöräergometrillä.

Ensimmäisenä testinä tutkittavat suorittavat suoran maksimaalisen hapenoton testin. Testi suoritettiin polkupyöraergometrilla. Suorasta testistä kävi ilmi tutkittavan maksimaalinen hapenotto ja maksimaalinen aerobinen työteho. Toisella testikerralla tutkittava polki AERPmax kuormituksen kolmesti. AERPmax suoritusten välillä oli 15 minuutin tauko. Palautumista seurattiin laktaattimittauksin, voimamittauksin (CMJ ja MIF) ja kestävyysuorituskykyä (AERPmax aika ja VO2max) seuraten. Lisäksi kuormituksen aikana mitattiin tutkittavan ventilaatiota ja sydämen sykettä. Kolmannella testikerralla, vuorokausi toisesta testikerrasta, tutkittava polki AERPmax kuormituksen vain kertaalleen.

Hardenin (ym. 2018) tutkimuksessa huomattiin, että isometrinen jalkaprässi on toistettava ja sensitiivinen tapa testata jalkojen ojentajien voimantuottoa. Isometrisellä jalkaprässillä saadaan mitattua tarkasti pieniäkin muutoksia voimantuotossa. Testiä tehdessä tulee huomioida suoritustekniikan ja suorituksen aikaisen polvikulman vakiointi luotettavien mittaustulosten varmistamiseksi.

Erilaisista hyppy- ja sprinttitesteistä pidetään kevennyshyppyä parhaana testinä mittamaan hermolihaskäytön väsymistä kuormituksen jälkeen (Gathercole ym. 2008). Maksimaalisen kevennyshypyn nousukorkeuden mittaus on toistettava ja luotettava hermolihaskäytön voimantuoton mittari (Cormack ym. 2008; Williams ym. 2007).

7.3 Mittaukset

7.3.1 Testikerta 1: Suora testi

Ensimmäinen testi tutkimuksessa tutkittaville oli suora maksimaalisen hapenottoa testi polkupyöraergometrilla (Monark LC4, Cycleurope Sverige AB, Ruotsi). Suorassa testissä poljettiin kahden (2) minuutin kuorman korotuksilla uupumukseen asti. Lopetuskriteerinä oli poljinkierrosten putoaminen alle 60 kierrokseen minuutissa tai tutkittavan päätös lopettaa testi. Tutkittavaa kannustettiin testin aikana, tavoitteena saada testistä tutkittavan maksimaalinen tulos. Kaikkien tutkittavien kuormitusprotokolla suorassa testissä oli sama: aloituskuorma 75 wattia ja kuorman nosto 25 wattia kahden minuutin välein.

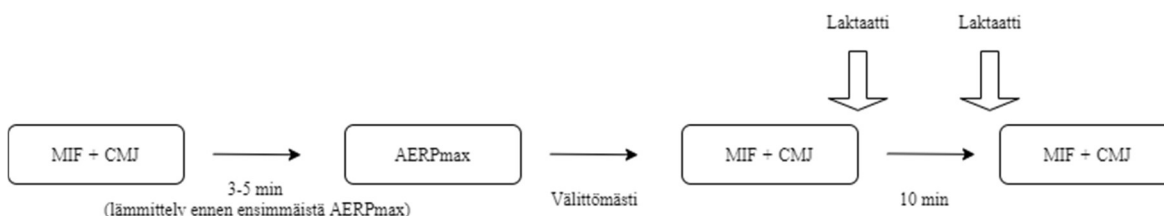
Hengityskaasuanalyysaattorilla (Vyntus CPX, Vyair Medical GmbH, Hoechberg, Saksa) mitattiin breath by breath -toiminnolla hapenottoa ja hengityksen virtausta. Hapenoton arvot määritettiin 30 sekunnin keskiarvon mukaan. Testin aikana mitattiin sykettä Polarin sykevyöllä (Polar Pro Strap, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) ja sykesensorilla (Polar H10, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi), joka paritettiin hengityskaasuanalyysaattorin kanssa. Laktaatinäytteitä kerättiin suoran testin aikana. Laktaatinäytettä aloitettiin ottamaan 30 sekuntia ennen kuormitusportaan päättymistä ja se pyrittiin ottamaan 30 sekunnin aikana. Laktaatinäytteet otettiin sormen päästä pieniin kapillaareihin ja analysoitiin Biosen S line Lab+ -analyysaattorilla (EKF Diagnostic, Magdeburg, Saksa). Lisäksi 15 sekuntia ennen kuormitusportaan päättymistä tutkittavalta kysyttiin koetun rasituksen kysely (RPE taulukko 6–20). Lämmittelyä suorassa testissä oli viiden minuutin polkeminen testin aloituskuormalla 75 wattia. Ennen lämmittelyä mitattiin tutkittavan laktaatti levossa. Testikerran aluksi tutkittavan paino mitattiin (Tanita BWB-800). Testistä analysoitiin tutkittavalle lisäarvoksi aerobinen kynnys, anaerobinen kynnys sekä maksimaalisen kestävyys suorituskyvyn arvot. Kynnykset määritettiin Suomessa käytetyn lineaarisovitemallin avulla (Keskinen ym. 2018, 97). Lisäksi ensimmäisellä testikerralla tutustuttiin seuraavissa testeissä käytettäviin voimamittauksiin, jotka olivat kevennyshyppy (CMJ) kontaktimatolla (Jyväskylän yliopisto) ja isometrinen jalkaprässi (MIF) (Jyväskylän yliopisto) (kuva 1).



KUVA 1. Tutkimuksessa käytetty isometrinen jalkaprässi (Jyväskylän yliopisto).

7.3.2 Testikerrat 2 ja 3: Kuormitustestit

Toinen testikerta alkoi painon mittauksella ja lepolaktaatin mittauksella. Tämän jälkeen tutkittava polki viiden minuutin lämmittelyn 75 watin kuormalla. Lämmittelyn jälkeen tutkittava sai muutaman minuutin ajan tehdä omavalintaisia verryttelyliikkeitä, minkä jälkeen suoritettiin voimamittaukset. Voimamittaukset suoritettiin aina samassa järjestyksessä; ensin MIF, sitten CMJ. Isometrinen jalkaprässi suoritettiin 110 asteen polvikulmalla. Tutkittavaa pyydettiin tuottamaan mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman paljon voimaa noin kahden (2) sekunnin ajan. Voimantuottoa mitattiin Signal 4.1 -ohjelmistolla. Yrityksiä oli kaksi luotettavan tuloksen varmistamiseksi. Välittömästi jalkaprässiltä tutkittava siirtyi kontaktimatolle. CMJ suoritettiin kädet lantiolla ja alastulo ohjeistettiin tehtävän suorille jaloille. Myös CMJ yrityksiä oli kaksi. Voimamittausten jälkeen tutkittava suoritti kestävyyskuormituksiin valmistavan lämmittelyn. Valmistavassa lämmittelyssä tutkittava polki kolme (3) minuuttia 70 prosenttia hänen aerobista maksimitehoaan vastaavalla kuormalla. Seuraavaksi minuutin tauon jälkeen tutkittava polki 30 sekuntia omalla maksimitehollaan ja tämä toistettiin toisen kerran 30 sekunnin palautuksen jälkeen.



KUVIO 8. Yhden kuormituskierroksen kulku. AERPmax = aerobisella maksimiteholla suoritettu kuormitus uupumuksen asti polkupyöräergometrilla. MIF = maksimaalinen isometrinen voimantuotto (jalkaprässi). CMJ = kevennyshyppy.

Kuviosta 8 nähdään yhden kuormituskierroksen kulku. Lämmittelyn jälkeen tutkittava sai levätä ja latautua henkisesti 3–5 minuuttia, minkä aikana hänelle asennettiin hengityskaasumaski analysaattoria varten. AERPmax:in (kuva 2) aikana tutkittavaa kannustettiin mahdollisimman kovan tuloksen edesauttamiseksi. Välittömästi pyöräilyn päätyttyä tutkittava talutettiin voimamittauksiin (MIF + CMJ), jotka pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman nopeasti.



KUVA 2. AERPmax alkamassa (Jyväskylän yliopisto).

Voimamittauksista tutkittava siirtyi istumaan kymmenen minuutin tauolle. Heti tauon alettua tutkittavalta otettiin laktaattinäyte. Tutkittavan tuli istua kymmenen minuutin tauon ajan, mutta hänen annettiin juoda ja ravistella jalkojaan. Testin aikana juomana sai nauttia ainoastaan vettä. Tauon jälkeen tutkittavalta otettiin jälleen laktaattinäyte, ja sen jälkeen tutkittava siirtyi jälleen voimamittauksiin ja uuteen AERPmax -suoritukseen. AERPmax -suoritusten välinen aika oli 15 minuuttia. Toisella testikerralla AERPmax tehtiin kolmesti. AERPmax:in aikana hengityskaasuja, hengitystä ja sykettä mitattiin. Toisen testikerran jälkeen tutkittavalle annettiin ohjeeksi nauttia runsaasti hiilihydraatteja ja oman harkinnan mukaan tehdä hyvin kevyttä liikuntaa kuten kävelyä.

Kolmas testikerta toteutettiin 23–25 tuntia toisen testikerran jälkeen. Kolmas testikerta oli muuten täysin sama kuin toinen testikerta, mutta kolmannella kerralla AERPmax tehtiin vain kerran.

7.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkimuksessa kerätyn datan analysointiin käytettiin IBM SPSS Statistics 26.0 -ohjelmaa. Analysoinnissa verrattiin suorassa testissä mitattua korkeinta hapenoton (ml/kg/min) 30 sekunnin keskiarvoa neljään palautumismuuttujaan. Palautumismuuttujat jaettiin hermolihasjärjestelmän palautumista ja kestävyysuorituskykyä kuvastaviin muuttujiin. Palautumismuuttujat olivat: kevennyshypyn nousukorkeuden kuormituspäivien lähtötasojen erotus (CMJE), isometriseen jalkaprässiin tuotetun maksimivoiman kuormituspäivien lähtötasojen erotus (MIFE), kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax suoritusten maksimaalisen hapenottokyvyn erotus (VO2maxE) ja kuormituspäivien ensimmäisten AERPmax kestoajkojen erotus (sMAXE).

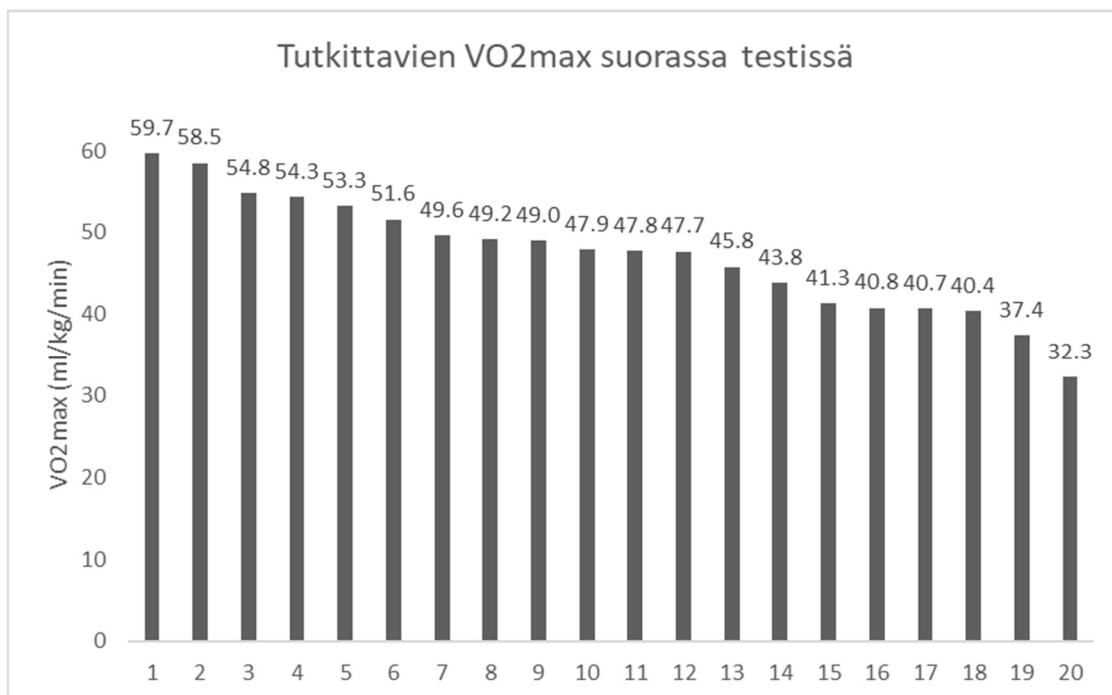
Muita muuttujia tutkimuksessa olivat kevennyshypyn nousukorkeus (CMJ), maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässiin (MIF), AERPmax suorituksen aikainen maksimaalisen hapenoton suurin 30 sekunnin keskiarvo (VO2max), AERPmax suorituksen kesto, AERPmax suorituksessa mitattu suurin ventilaation (l/min) 30 sekunnin keskiarvo, AERPmax suorituksen jälkeen mitattu veren laktaattipitoisuus (mmol/l) ja AERPmax suorituksen aikana mitattu suurin sydämen sykkeen (lyöntiä/minuutissa) 30 sekunnin keskiarvo. CMJ- ja MIF -mittausten tuloksissa huomioitiin testipäivien kahdesta yrityksestä ensin mitattu tulos.

SPSS-ohjelmalla analysointiin hapenottokyvyn ja palautumismuuttujien normaalijakautuneisuus käyttämällä Shapiro-Wilkin testiä. Testin perusteella hapenottokyky, CMJE ja VO2maxE noudattivat normaalijakaumaa. Puolestaan MIFE ja sMAXE eivät noudattaneet normaalijakaumaa. Muista muuttujista CMJ, VO2max, laktaatti, syke ja ventilaatio noudattivat normaalijakaumaa. Puolestaan MIF:in ja AERPmax:in kesto eivät noudattaneet normaalijakaumaa. Suorituskyvystä kertovien muuttujien kuormituspäivien välisen muutoksen merkitsevyyttä laskettiin käyttämällä normaalijakautuneille muuttujille riippuvien otosten t-testiä ja ei-normaalijakautuneille muuttujille Wilcoxonin merkittyyden sijalukujen testiä.

Jokaisen palautumismuuttujan riippuvuutta hapenottokykyyn tutkittiin piirtämällä SPSS-ohjelmalla näistä pisteparvikuvaaja, sekä laskettiin muuttujien väliset korrelaatiokertoimet (r). Normaalijakautuneille muuttujille laskettiin Pearsonin korrelaatiokerroin ja ei-normaalijakautuneille muuttujille laskettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerroin. Molemmissa tapauksissa muuttujien välistä lineaarista riippuvuutta testattiin laskemalla p-arvot SPSS-ohjelmalla. Tilastollisen merkitsevyyden rajoina tutkimuksessa toimivat p-arvot: $p < 0.05$, $p < 0.01$ ja $p < 0.001$.

8 TULOKSET

Suorassa testissä mitattu suurin VO₂max 30 sekunnin keskiarvo oli tutkittavilla keskimäärin 47.3 ± 7.1 ml/kg/min. Tutkittavien aerobinen maksimiteho oli keskimäärin 312 ± 36 W. Kuviosta 9 nähdään jokaisen tutkittavan VO₂max suorassa testissä.



KUVIO 9. Tutkittavien kehonpainoon suhteutettu maksimaalinen hapenotto (VO₂max) suorassa testissä. n = 20.

Taulukosta 3 nähdään hermolihasjärjestelmän voimantuoton muuttujien kuormituspäivien lähtötasot. Muuttujien lähtötasojen muutos ei ole tilastollisesti merkittävä (CMJ $p = 0.896$, MIF $p = 0.052$). Suhteellisesti tämän tutkimuksen tutkittavilla kevennyshyppy heikkeni seuraavalle päivälle keskimäärin 0.3 %:ia ja maksimaalinen voimantuotto jalkaprässissä keskimäärin 5.1 %:ia.

TAULUKKO 3. Hermolihasjärjestelmän voimantuoton mittausten kuormituspäivien lähtötasojen maksimiarvot ja muutos. MIF = maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä. CMJ = kevennyshyppy. Tulokset muodossa keskiarvo \pm keskihajonta. $n = 20$. * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

Muuttuja	Kuormituspäivä 1 (PRE)	Kuormituspäivä 2 (POST)	Muutos
CMJ (cm)	38.7 \pm 6.1	38.6 \pm 6.8	-0.1 \pm 2.4
MIF (N)	3622 \pm 699	3446 \pm 838	-175 \pm 448

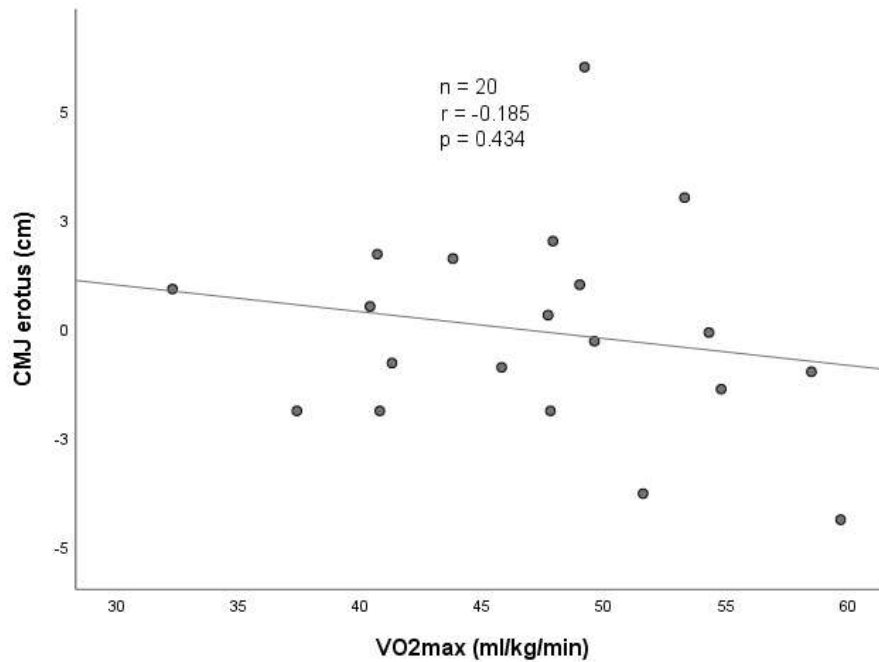
Taulukosta 4 nähdään AERPmax aikaisten mittausten kuormituspäivien väliset maksimiarvot. VO2max parantuminen oli tilastollisesti erittäin merkittävä ($p = 0.0003$). Syke oli toisena kuormituspäivänä tilastollisesti merkittävästi matalampi ($p = 0.014$). Muiden muuttujien tulosten muutos ei ole tilastollisesti merkittävää (AERPmax kesto $p = 0.100$, laktaatti $p = 0.726$, ventilaatio $p = 0.102$). Muuttujien suhteellinen muutos oli tämän tutkimuksen tutkittavilla keskimäärin: VO2max 3.7 %, AERPmax kesto 6.9 %, laktaatti 1.3 %, ventilaatio 4.5 % ja syke 0.9 %.

TAULUKKO 4. AERPmax aikaisten mittausten kuormituspäivien väliset maksimiarvot ja muutokset. VO2max = maksimaalinen hapenotto. AERPmax = aerobisella maksimiteholla suoritettu kuormitus uupumuksen asti polkupyöräergometrilla. Tulokset muodossa keskiarvo \pm keskihajonta. $n = 20$. * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$, *** = $p < 0.001$.

Muuttuja	1. kuormituspäivän 1. AERPmax	2. kuormituspäivän AERPmax	Muutos
VO2max (ml/kg/min)	46.8 \pm 6.3	48.5 \pm 6.8	1.7 \pm 1.8 ***
AERPmax kesto (s)	336 \pm 70	359 \pm 99	23 \pm 65
Laktaatti (mmol/l)	15.7 \pm 2.6	15.9 \pm 3.0	0.2 \pm 2.0
Ventilaatio (l/min)	170.9 \pm 31.6	177.5 \pm 31.5	6.6 \pm 17.0
Syke (lyöntiä/min)	189.9 \pm 8.9	188.2 \pm 9.2	-1.7 \pm 2.9 *

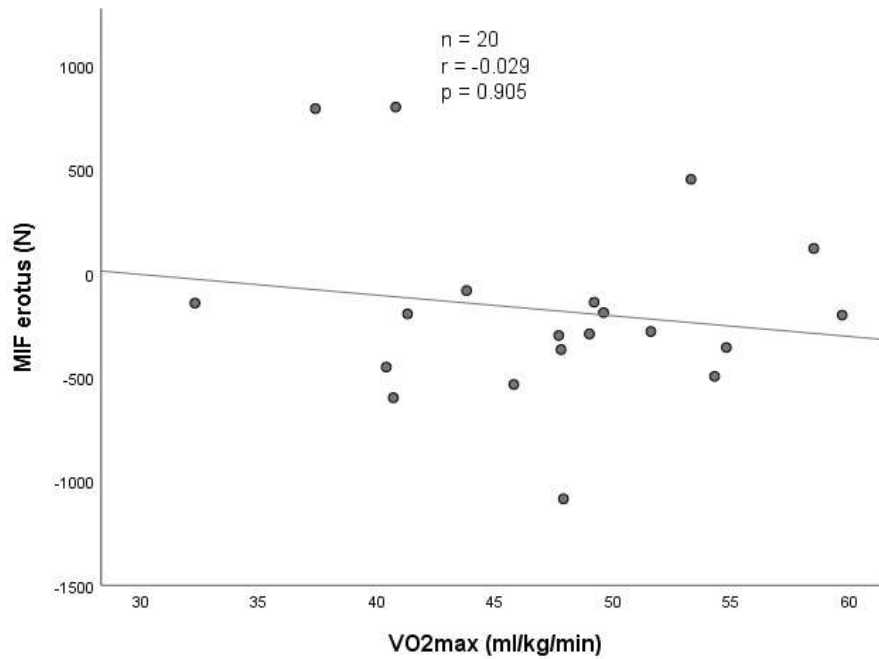
8.1 Hermolihasjärjestelmän palautumismuuttujat

Kuviossa 10 on kuvattu muuttujan CMJE ja maksimaalisen hapenoton muodostama pisteparvi. Näiden muuttujien välillä ei ole tilastollisesti merkittävää lineaarista riippuvuutta ($p = 0.434$). Yhdentoista (11) tutkittavan kevennyshyppy heikentyi seuraavalle päivälle.



KUVIO 10. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO2max) ja CMJE muodostama pisteparvikuvaaja. CMJ = kevennyshyppy. $n = 20$, $r = -0.185$, $p = 0.434$.

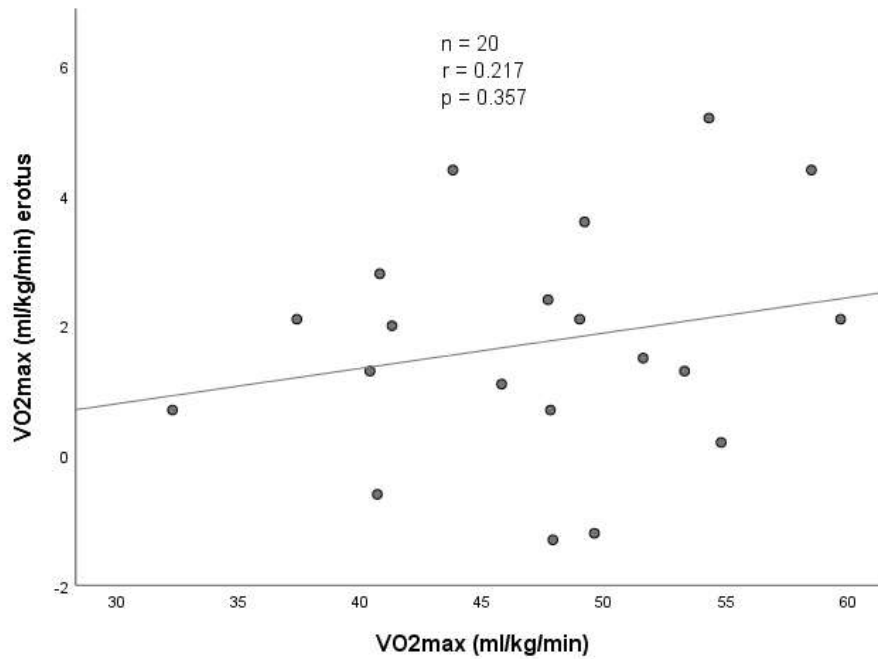
Kuviossa 11 on kuvattu muuttujan MIFE ja maksimaalisen hapenoton muodostama pisteparvi. Näiden muuttujien välillä ei ole tilastollisesti merkittävää lineaarista riippuvuutta ($p = 0.905$). Kuudentoista (16) tutkittavan maksimaalinen voimantuotto heikentyi seuraavalle päivälle.



KUVIO 11. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) ja MIFE muodostama pisteparvikuvaaja. MIF = maksimaalinen isometrinen voimantuotto jalkaprässissä. N = Newton. $n = 20$, $r = -0.029$, $p = 0.905$.

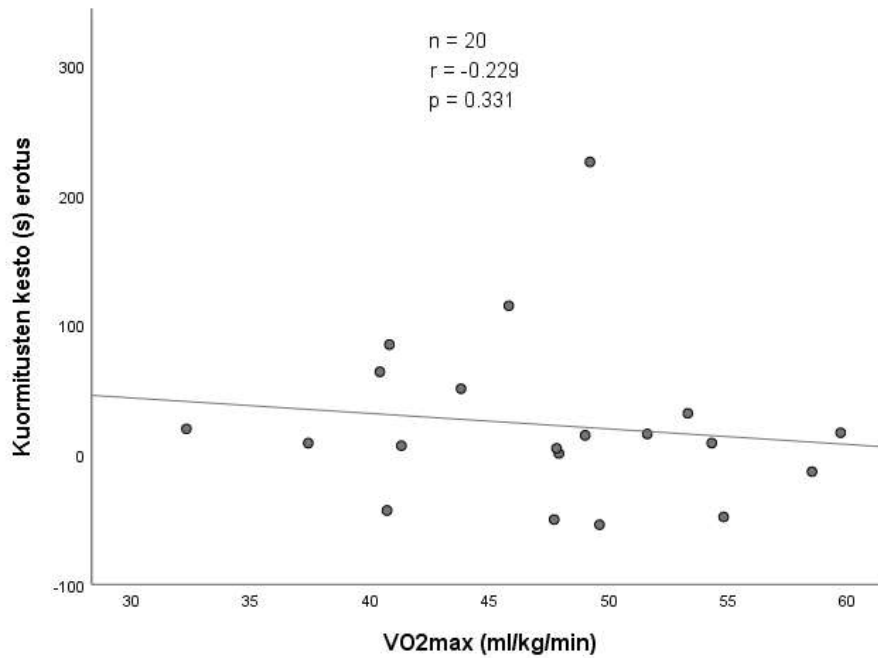
8.2 Kestävyyssuorituskyvyn palautumismuuttujat

Kuviossa 12 on kuvattu muuttujan VO₂maxE ja maksimaalisen hapenoton muodostama piste-parvi. Näiden muuttujien välillä ei ole tilastollisesti merkittävää lineaarista riippuvuutta ($p = 0.357$). Tutkittavista seitsemällätoista (17) mitattiin seuraavana päivänä suurempi hapenotto.



KUVIO 12. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO₂max) ja VO₂maxE muodostama piste-parvi-kuvaaja. $n = 20$, $r = 0.217$, $p = 0.357$.

Kuviossa 13 on kuvattu muuttujan sMAXE ja maksimaalisen hapenoton muodostama piste-parvi. Näiden muuttujien välillä ei ole tilastollisesti merkittävää lineaarista riippuvuutta ($p = 0.331$). Tutkittavasta viidellätoista (15) oli AERPmax kesto seuraavana päivänä suurempi.



KUVIO 13. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO2max) ja sMAXE muodostama pisteparvikuvaaja. $n = 20$, $r = -0.229$, $p = 0.331$.

9 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa käy ilmi, että hapenottokyvyllä ei ole vaikutusta kestävyysuorituskyvyn tai hermolihasjärjestelmän voimantuoton palautumiseen intensiivisestä kestävyyskuormituksesta seuraavana päivänä. Havainnoista voidaan päätellä, että fysiologisiin mekanismeihin palautumiskyvyn taustalla vaikuttavat muut tekijät kuin aerobisen kapasiteetin taso. Tutkittavien suorassa testissä mitatun hapenottokyvyn perusteella voidaan sanoa, että tutkittavat edustivat erilaisia aerobisen kapasiteetin tasoja.

Tuloksista käy ilmi, että tämän tutkimuksen tutkittavista suurimman osan kestävyysuorituskyky parantui seuraavana päivänä kuormitusten jälkeen. Tutkittavista ($n = 20$) 75 prosentilla (15/20) kestävyysuorituskyky (AERP_{max} pituus) kasvoi kuormituksia seuraavana päivänä ja 85 prosentilla (17/20) tutkittavista mitattiin seuraavana päivänä vastaavassa kuormituksessa suurempaa hapenkulutusta. Hermolihasjärjestelmän räjähtävä voimantuotto palautui keskimäärin lähes lähtötasolleen seuraavana päivänä. Ainoa mittaustulos, joka kertoi palautumisen jääneen vajaaksi ja antoi merkkejä väsymyksestä kuormitusta seuraavana päivänä, oli jalkojen ojentajien keskimäärin hieman heikentynyt maksimivoimantuotto.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että tutkittavat palautuivat hyvin vuorokauden aikana kolmesta uupumukseen asti tehdystä pyöräilysuorituksesta. Näyttää siltä, että palautumisaika oli riittävä energiantuottojärjestelmien palautumiselle. Tutkittaville annettiin palautumisaikana ohjeeksi syödä ”runsaasti hiilihydraatteja”. Suorituskyvyn palautumisesta voidaan päätellä, että tutkittavat onnistuivat tankkaamaan glykogeenivarastot tasolle, joka ei rajoittanut suorituskykyä. Anaerobisten energiantuottojärjestelmien palautumista voidaan arvioida AERP_{max}:in jälkeen mitatun veren laktaattiarvon perusteella. Tutkittavien laktaatit olivat kuormituspäivien välillä hyvin samat: ensimmäisen kuormituspäivän ensimmäinen AERP_{max} suorituksen jälkeen keskimäärin 15.7 mmol/l ja toisen kuormituspäivän AERP_{max} suorituksen jälkeen keskimäärin 15.9 mmol/l.

Palautumismittauksissa havaittua maksimivoimantuoton heikkenemisen syytä ei tässä tutkimuksessa mitattu. Aiemman tutkimustiedon pohjalta näyttää siltä, että havaittu voimantuoton

lasku voi selittyä väsymyksenä lihasten sentraalisessa ohjauksessa, minkä vuoksi lihasten motoristen yksiköiden aktiivisuus heikkenee (Carroll ym. 2017). Lihaksen maksimaaliseen voimantuottoon nähden jatkuvan submaksimaalisen kuormituksen, kuten tutkimuksen kestävyyskuormitus, on huomattu aiheuttavan sentraalisen ohjauksen väsymistä (Boyas & Guével 2011). Toisaalta tulee huomioida, että tutkittavat tekivät ensimmäisenä kuormituspäivänä myös maksimaalisia voimantuottoja (neljätoista (14) kevennyshyppyä ja neljätoista (14) kahden sekunnin voimantuottoa isometriseen jalkaprässiin). Maksimaaliset suoritukset puolestaan aiheuttavat lihasten perifeeristä väsymystä, jolloin lihasten supistumisominaisuudet heikkenevät (Boyas & Guével 2011).

9.1 Mahdollisia selityksiä parantuneelle kestävyysuorituskyvyille

Mahdollinen selittävä tekijä suorituskyvyn parantumiselle seuraavalle päivälle voi olla nopea neuraalinen adaptaatio. Váczí ym. (2018) huomasivat, että neuraalista adaptaatiota tapahtuu 24 tunnin aikana kuormituksesta. Parantunut pyöräilyn taloudellisuus, etenkin kun tutkittavat eivät olleet kokeneita pyöräilijöitä, voi selittää parantunutta suorituskykyä.

Myös akuutit muutokset verenkiertoelimistössä voivat selittää parantunutta suorituskykyä. Goodmanin ym. (2005) tutkimuksessa huomattiin, että lyhyen kestävyysharjoittelujakson jälkeen huomataan verimäärän kasvua. Muutoksia verimäärässä voidaan nähdä jo yhden harjoituksen jälkeen. Kasvanut verimäärä on yhteydessä sydämen suurempaan iskutilavuuteen ja sitten suurempaan minuuttitulavuuteen. Verimäärän lisääntyessä huomataan tyypillisesti samalla sykkeen laskua (Goodman ym. 2005). Tutkittavien maksimisyke oli kuormituspäivien AERPmax suoritusten välillä samankaltainen; ensimmäisen kuormituspäivän ensimmäisessä AERPmax keskimäärin 190 kertaa minuutissa ja toisen kuormituspäivän AERPmax keskimäärin 188 kertaa minuutissa. Sykettä tarkastellessa tulee huomioida, että sykkeen päivittäinen vaihtelu raskaassa kuormituksessa on keskimäärin kolme lyöntiä minuutissa (Lamberts & Lambert 2009).

Lisäksi yksi selittävä tekijä suorituskyvyn parantumiselle voi olla vuorokauden aikana tapahtunut solun mitokondrioiden toiminnan lisääntynyt aktiivisuus. Russellin ym. (2013)

tutkimuksessa tutkittavat ($n = 9$) polkivat 60 minuuttia 70 %:ia maksimaalisesta hapenoton tehosta vastaavalla kuormalla. Ennen polkemista ja kolme tuntia polkemisen jälkeen tutkittavien reidestä otettiin lihassolunäyte. Pyöräilyn jälkeen huomattiin, että mitokondrioiden biogeneesiä säätelevät mikroRNA:n aktiivisuudet olivat merkittävästi nousseet pyöräilyä edeltävästä tilasta. Nopeaa mitokondrioiden määrän ja aktiivisuuden kasvua kestävyysharjoittelun jälkeen on huomattu myös rotilla tehdyssä tutkimuksessa (Vincent ym. 2000).

9.2 Eksentrisen lihastyön puute

Muuttujien palautumista tarkastellessa tulee huomioida, että tässä tutkimuksessa kuormitus toteutettiin polkupyöräergometrillä, jossa lihastyötapa oli ainoastaan konsentrinen (Bijker ym. 2002). Tosin tulee huomioida, että palautumismittauksissa tuli hieman isometristä lihastyötä (jalkaprässi) ja eksentristä lihastyötä (CMJ). Kuormittava eksentrisen lihastyö aiheuttaa lihassoluvaurioita. Lihassoluvaurioissa lihassolujen poikittaissiltojen muodostuminen häiriintyy, minkä vuoksi lihasten voimantuotto heikkenee (Walsh ym. 2001). Voimantuoton heikkenemisen lisäksi lihassoluvaurioiden yhteydessä ilmenee myös lihasarkuutta. Tutkimuksessa ei mitattu mahdollisia lihassoluvaurioita kuormitusten jälkeen. Näitä olisi voinut epäsuorasti mitata kreatiinikinaasin pitoisuuden mittauksella verestä ja lihasarkuuskyselyillä. Konsentrisen lihastyötavan aiheuttaman lihassoluvaurion määrä näyttää vähäiseltä. Newhamin ym. (1983) tutkimuksessa tutkittavat ($n = 4$) suorittivat 20 minuutin kuormituksen nousemalla step-laudalle ylös ja alas siten että ylösnousu tehtiin aina toisella jalalla (konsentrinen lihastyötapa) ja alastulo aina toisella jalalla (eksentrisen lihastyötapa). Lihassoluvaurioita tarkasteltiin molempien jalkojen etureidestä (vastus lateralis) otetusta lihassolunäytteestä, joka toistettiin kuormituksen jälkeen ja kuormituksen jälkeisinä päivinä. Lihassolunäytteistä analysointiin lihassoluvaurioista kertovia lihaksen rakenteellisia muutoksia, joita verrattiin ennen kuormitusta otettuihin näytteisiin. Tutkimuksessa huomattiin, että ainoastaan eksentrisen lihastyötapa aiheutti lihassoluvaurioista kertovia rakenteellisia muutoksia.

Penailillon ym. (2013) tutkimuksessa verrattiin eroja konsentrisen ja eksentrisen pyöräilyn aiheuttamiin vasteisiin voimantuotossa ja kreatiinikinaasin pitoisuudessa veressä. Tutkittavat ($n = 10$) polkivat erillisinä kertoina 30 minuuttia konsentrisesti ja eksentrisesti. Molemmilla

lihastyötavoilla teho määritettiin 60 prosenttia konsentrisesti saavutetusta maksimaalisesta aerobisesta tehosta. Kevennyshypyn nousukorkeus ja polven ojennuksen maksimaalinen voimantuotto heikkenivät seuraavina päivinä kuormituksesta mitattuna tilastollisesti merkittävästi ai-noastaan eksentrisen kuormituksen jälkeen. Toisaalta kreatiinikinaasin pitoisuudessa huomattiin molempien työtapojen välillä samankaltaista lievää nousua seuraavina päivinä. Koettu lihasarkuus oli eksentrisen kuormituksen jälkeen merkittävästi suurempaa kuin konsentrisen kuormituksen jälkeen (Penaillo ym. 2013). Eksentrisen pyöräilyn vaikutuksista voimantuoton heikkenemiseen on huomattu myös Fridénin ym. (1983) tutkimuksessa. Tutkittavat (n = 12) polkivat eksentrisesti 30 minuutin kuormituksen työteholla, joka vastasi 80–100 prosentin tasoa konsentrisessä testissä mitatusta VO₂max:sta. Kolme päivää kuormituksesta isometrisen polven ojennuksen maksimaalinen voimantuotto oli 13–24 prosenttia heikompi kuin kuormitusta edeltäneessä mittauksessa. Klossnerin ym. (2007) tutkimuksessa tutkittavat (n = 6) polkivat eksentrisesti 15 minuutin ajan 50 prosenttia maksimaalisesta konsentrisestä aerobisesta työtehosta vastaavalla kuormalla. Vuorokausi kuormituksesta tutkittavien kevennyshyppy oli heikentynyt kuusi prosenttia kuormitusta edeltävästä tasosta. Burtin & Twistin (2011) tutkimuksessa mitattiin loikkakuormituksen vaikutusta pyöräilyn aika-ajosuoritukseen (15 minuuttia). Ensimmäisen aika-ajosuorituksen jälkeen tutkittavat (n = 8) suorittivat kymmenen kertaa kymmenen toiston sarjan vertikaalihyppyjä. Kahden vuorokauden päästä (48 tuntia) aika-ajo toistettiin. Tutkittavien aika-ajosuoritus heikkeni ajassa mitattuna merkittävästi loikkakuormituksen jälkeen. Kontrolliryhmällä (n = 9), joka ei tehnyt loikkakuormitusta, ei aika-ajosuoritusten välillä ollut merkittäviä eroja.

Eksentrisen lihastyön aiheuttamat lihassoluvauriot vaikuttavat merkittävästi hermolihasjärjestelmän suorituskykyyn. Suorituskyvyn palautuminen ennalleen lihassoluvaurioiden jälkeen vie useita päiviä (Sayers & Clarkson 2001). Tämän tutkimuksen tutkittavat olivat kamppailijoita. Kamppailulajien otteluissa tehdään eksentristä lihastyötä ja tämä näkyy merkittävästi kohonneina kreatiinikinaasin pitoisuuksina ja voimantuoton heikkenemisenä otteluiden jälkeen mitattuna (Kraemer ym. 2002; Barbas ym. 2010). Kamppailijoiden suorituskykyä tutkiessa tulisi jatkossa eksentristä lihastyötä lisätä mukaan kuormitusmalliin. Jos kuormitusmallilla saadaan tutkittaville ilmenemään kuormituksen aiheuttamia lihassoluvaurioita, voisi hapenottokyvyn riippuvuutta lihassoluvaurioiden palautumiseen tutkia.

9.3 Hapenoton kinetiikka ja hengitystekniikka

Hapenoton keskimääräistä nousua kuormituspäivien välissä voi selittää parantunut hapenoton kinetiikka. On viitteitä, että hapenoton kinetiikka voi adaptoitua tehokkaammaksi lyhyen harjoittelun jälkeen. Etenkin henkilöillä, jotka eivät ole aiemmin keskittyneet kestävyysharjoitteluun (Yoshida ym. 1991; Hickson ym. 1981). Raskaan lämmittelyn (kuusi minuuttia 85 prosenttia aiemmin mitatusta hapenoton huippuarvosta) jälkeen on mitattu suurempia hapenoton arvoja maksimaalisessa suorituksessa verrattuna kevyempiin lämmittelyihin (Faisal ym. 2009). Tulevissa tutkimuksissa voisi selvittää, miten kauan lämmittelyn vaikutukset kestävät. Onko mahdollista, että tässä tutkimuksessa suoritettut kolme AERPmax suoritusta toimivat lämmittelynä tai valmistavana harjoituksena seuraavan päivän AERPmax suoritukselle.

Suurimmalla osalla tämän tutkimuksen tutkittavista ei ollut aiempaa kokemusta maksimaalisesta kestävyystestauksesta. Hengitystekniikan osalta testitilanteessa tutkijat antoivat suullisia ohjeita, kuten: ”isoa puuskutusta” ja ”käytä keuhkoja”. Vaikutti kuitenkin siltä, että osa tutkittavista käytti rauhallista hengitystekniikkaa rasituksessa etenkin ensimmäisen kuormituspäivän ensimmäisessä AERPmax -suorituksessa. Tämä voi selittyä kamppailulajeissa tyypillisestä ilmiöstä, jossa pyritään olla näyttämättä väsymystä (raskasta hengitystä) vastustajalle. Ensimmäisen kuormituspäivän ensimmäisen AERPmax suorituksen jälkeen monen tutkittavan kanssa keskusteltiin hengitystekniikasta ja näytti siltä, että hengitystekniikka muuttui osalla jälkimmäisiin AERPmax suorituksiin puuskuttavammaksi. Toisena kuormituspäivänä monia tutkittavia ohjeistettiin jatkamaan edellisenä päivänä hyväksi todetulla puuskuttavalla hengitystekniikalla. Havaintoa tukee tutkittavien mitatut ventilaation (l/min) arvot. Toisen kuormituspäivän AERPmax suorituksessa mitattiin ensimmäisen kuormituspäivän ensimmäiseen AERPmax suoritukseen verrattuna keskimäärin $6.6 \text{ l/min} \pm 17.0 \text{ l/min}$ suurempi maksimiventilaatio. Suhteessa ventilaatio kasvoi 4.5 %:ia.

Hapenoton tuloksia tarkastellessa tulee huomioida hengityskaasuanalysointorin virhemarginaali. Tutkimuksessa käytetty analysointori Vyntus CPX ilmoittaa tarkkuudeksi ilman virtauksen mittauksen osalta kaksi prosenttia ja hapenoton mittauksen osalta kolme prosenttia (Vyntus

2017). Mittalaitteen tarkkuudesta huolimatta mittausten tuloksissa huomattua hapenoton kasvamista seuraavalle päivälle tukee, että kasvua mitattiin tutkittavista 85 prosentilla (17/20).

9.4 Tutkimuksen rajoituksia

9.4.1 Vakiointi

Valittuun tutkimusasetelmaan vaikutti merkittävästi pyrkimys vakioituun kuormitukseen ja kuormitustapaan. Tutkimuksen aikana testiprotokollassa ilmeni kuitenkin tekijöitä, jotka eivät olleet tarkasti vakioituja ja siten mahdollisesti vaikuttivat tuloksiin. Polkupyöraergometrilla tehdyissä kestävyyskuormituksissa annettiin tutkittaville ohjeistus, että he saavat valita vapaasti polkemistyylin, kunhan lopetuskriteerinä käytetty 60 poljinkierrosta (kadenssi) minuutissa toteutui. Tämä tarkoitti, että tutkittava sai itse päättää haluamansa kadenssin ja polkemisasennon. Osa tutkittavista huomasi ensimmäisenä kuormituspäivänä pystyvänsä jatkamaan polkemistä hieman pidempään nousemalla seisomaan kuormituksen loppuvaiheessa istumisen sijaan. Kyseisten tutkittavien kohdalla oli havaittavissa, että toisena kuormituspäivänä he nousivat polkemaan seisten huomattavasti aiemmin kuin edeltävän päivän kuormituksessa. Polkemisasennon muutos mahdollisesti vaikutti suorituksen keston. Polkemisasennon muutos mahdollisesti vaikutti myös hapenottoon, sillä voidaan ajatella seisten tehtävän enemmän lihastyötä (ylävartalon kannattelu), ja myös hengityksen käyttö mahdollisesti tehostuu pystyasennossa. Tulevissa tutkimuksissa polkemisasento tulisi vakioida tulosten luotettavuuden varmistamiseksi.

Hermolihasjärjestelmän palautumismuuttujien mittausten järjestys oli ensin jalkaprässi (kaksi yritystä) ja sitten kevennyshyppy (kaksi yritystä). Ohjeistuksena oli siirtyä jalkaprässiltä ”nopeasti” kevennyshypyn kontaktimatolle. Siirtymään käytetty aika vaikutti kuitenkin vaihtelevan tutkittavien välillä, ja osa tutkittavista suoritti erilaisia ravisteluita siirtymävaiheessa. Koska jalkaprässissä tehtiin kaksi maksimaalista suoritusta peräkkäin, on mahdollista, että ne vaikuttivat heti perään tehtyihin kevennyshyppyihin. Tämän takia olisi ollut tärkeää, että jalkaprässi- ja kevennyshyppysuoritusten välinen aika ja tekeminen olisi vakioitu.

Tässä tutkimuksessa vuorokauden (23–25 tuntia) palautumisajan aikaista toimintaa ei vakioitu. Jokaiselle tutkittavalle annettiin suullinen ohjeistus ”syödä paljon hiilihydraatteja” ja ”tehdä kevyttä fyysistä aktiiviteettia” palautumisaikana. Tulevissa tutkimuksissa tulisi harkita vakioinnin tarvetta ruokavalion ja fyysisen toiminnan suhteen.

9.4.2 Tutkittavien motivaatio ja oppimisvaikutus

Yksi selitys keskimäärin havaitulle suorituskyvyn kohentumiselle seuraavalle päivälle voi olla motivaatiotekijät. Ensimmäisenä kuormituspäivänä tutkittavilla oli tiedossa, että he tekevät kestävyyskuormituksen kolmesti. Voidaankin pohtia, että säästelivätkö tutkittavat ensimmäisessä AERPmax -suorituksessa. Lisäksi tutkittavat tiesivät, että heillä on edessään kuormitus myös seuraavana päivänä. Koska palautumisen vertailussa käytettiin ensimmäisen päivän kuormitusten ensimmäistä AERPmax -suoritusta, vaikuttaisi mahdollinen säästely tuloksiin. Ensimmäisen kuormituspäivän AERPmax -suorituksessa tutkittavilla ei ollut konkreettista tavoiteaikaa. Aika, jota omalla aerobisella maksimiteholla voi ylläpitää, on hyvin yksilöllinen ominaisuus (Messonnier ym. 2002). Tutkittavalle annettiin ohjeeksi ensimmäisen päivän ensimmäiseen AERPmax -suoritukseen tavoitella ”mahdollisimman kovaa” aikaa ja kerrottiin aiempien tutkimusten perusteella suorituksen pituuden osuvan noin 3–8 minuutin haarukkaan. Seuraavana päivänä tilanne oli psykologisesti erilainen, sillä tutkittavat tiesivät viimeisen testipäivän AERPmax -suorituksen olevan viimeinen kuormittava suoritus tutkimuksessa. Tutkittavilla oli edelliseltä päivältä konkreettinen tavoiteaika, joka heitä kannustettiin ylittämään, jos mahdollista.

Pyöräilytesteissä on näyttöä, että suorituskyky kohentuu merkittävästi kilpailuasetelman takia (Cerbett ym. 2012). Tämänkaltaisessa tutkimusasetelmassa voisi harkita tutkimusprotokollan etenemisen salaamista tutkittavilta, jos se vain tutkimuseettisesti arvioidaan hyväksyttäväksi. Tässä tutkimuksessa tutkittavat olivat tietoisia testikellosta kuormitusten aikana. Voidaan myös pohtia, onko tutkittavien tieto testikellon kulusta tarpeellista.

Myöskään oppimisen vaikutusta seuraavan päivän keskimäärin parempiin tuloksiin ei voida poissulkea. Hibbert ym. (2017) huomasivat pyöräilytestissä, että täysin vastaavan protokollan

aiemmin suorittaneet tutkittavat pystyivät merkittävästi parempiin tuloksiin kuin protokollaan ainoastaan tutustuneet tutkittavat.

9.5 Tutkimuksen vahvuuksia

Kaikki tutkimuksen tutkittavat olivat joko harraste- tai kilpailutason kamppailijoita. Koska tutkimuksessa haluttiin selvittää aerobisen kapasiteetin vaikutusta palautumiseen kamppailulajien kestävyysuoritusta simuloivan kuormituksen jälkeen, oli olennaista, että tutkittavien harjoittelusta oli kamppailulajeista. Kamppailulajien kilpailusuoritukset rasittavat merkittävästi myös anaerobisia energiantuottojärjestelmiä (Barbas ym. 2010; Kraemer ym. 2002). Tutkittavien harjoittelusta saatiin viitteitä kuormituksen jälkeen mitatuista veren laktaattipitoisuuden huippuarvoista, jotka keskimäärin olivat tutkittavilla 15–16 mmol/l alueella. Kestävyysurheilusta omaavilla huippulaktaatit jäävät uupumukseen asti tehdyissä kynnystesteissä noin 10–12 mmol/l alueelle (Vucetic ym. 2015). Korkeampi laktaattiarvo kertoo paremmasta anaerobisesta kapasiteetista.

Polkupyöraergometrilla suoritettujen kuormitusten vahvuutena oli, että tutkittavien kuormitus voitiin suhteuttaa kaikille samaksi. Suhteellisesti sama kuormitustaso perustui siihen, että kaikki tutkittavat tekivät kuormitukset omalla aerobisella maksimitehollaan. Tällä protokollalla päästiin tarkastelemaan aerobisen kapasiteetin vaikutusta tilanteessa, jossa tutkittavat olivat kuormittuneet suhteessa samalla tavalla. Tämä on tärkeää, sillä kamppailuottelussa muilta ominaisuuksiltaan samankaltaisten ottelijoiden välillä fyysisesti paremmassa kunnossa (aerobinen ja anaerobinen kapasiteetti) oleva ottelija kuormittuu suhteessa toista vähemmän. Tämä voi luoda mielikuvan, että paremman kuntotason omaava ottelija palautuu nopeammin, mutta tulee ymmärtää, että ottelija on myös väsynyt vähemmän.

9.6 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen perusteella kamppailijat palautuivat hyvin vuorokauden aikana intensiivisen kestävyyskuormituksen jälkeen. Tämän tutkimuksen tutkittavilla suurimmalla osalla suorituskyky koheni kuormitusta seuraavana päivänä. Toisaalta tulee huomioida, että kuormitus ei

sisältänyt kamppailulle tyypillistä eksentristä lihastyötapaa, joka aiheuttaa merkittäviä lihassoluvaurioita (Walsh ym. 2001). Tämän tutkimuksen perusteella hapenottokyvyllä ei ole vaikutusta kestävyys suorituskyvyn tai hermolihasjärjestelmän voimantuoton palautumiseen vuorokauden palautumisajalla.

Aerobisen kapasiteetin harjoittelua ei tule tutkimuksen pohjalta perustella kamppailulajeissa ainoastaan palautumisen näkökulmasta, mutta toisaalta tulee ymmärtää, että paremman aerobisen kapasiteetin omaava pääsee absoluuttisesti samasta kestävyyskuormituksesta helpommalla. Tämän tutkimuksen tutkittavilla huomattu suorituskyvyn parantuminen seuraavalle päivälle intensiivisestä kestävyyskuormituksesta haastaa urheilussa yleisesti ennen kilpailuja käytetyn herkistelyn tarpeen.

9.7 Käytännön sovellukset

Vaikka tässä tutkimuksessa aerobisella kapasiteetilla ei ollut vaikutusta palautumiseen vuorokauden palautumisajan jälkeen, ei aerobisen kapasiteetin merkitystä kamppailulajeissa tule sivuuttaa. Kamppailulajien ottelukuormitus on sekä aerobisesti että anaerobisesti rasittavaa. Paremmassa kunnossa olevalle kamppailijalle sama ottelukuormitus on suhteessa kevyempi tilanteessa, jossa ottelijoiden kuormitus on samalla tasolla. Tällöin myös paremmassa kunnossa oleva ottelija pystyy nostamaan ottelun intensiteettiä kovemmaksi, sillä hänellä on vastustajaa suurempi kapasiteetti tehdä työtä. Paremmassa kunnossa olevalla ottelijalla palautuminen on nopeampaa, mikäli rasitus on ollut molemmille absoluuttisesti yhtä kuormittavaa, sillä väsymystä, josta palautua kertyy kunnoltaan paremmalle ottelijalle vähemmän.

Palautumista on joka tapauksessa tärkeää edistää etenkin turnausmuotoisissa kilpailuissa. Nesteytys, ravinto ja lepo ovat palautumisen kulmakiviä. Tämän tutkimuksen tutkittavien osalta edeltävän päivän intensiivinen kestävyyskuormitus parantaa kestävyys suorituskykyä suurimmalla osalla, mikä kyseenalaistaa perinteisen herkistelyn tarvetta ennen kilpailuja. Toisaalta tulee huomioida, että tässä tutkimuksessa ei tehty kamppailulajeille tyypillistä suoritusta edeltävää painonpudotusta, jossa ravinnon- ja nesteensaantia rajoitetaan.

LÄHTEET

- Abbiss, C. & Laursen, P. 2005. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med*, 35, 865–898.
- Adami, A., Sivieri, A., Moia, C., Perini, R. & Ferretti, G. 2013. Effects of step duration in incremental ramp protocols on peak power and maximal oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology* 113, 2647-2653.
- AIBA. 2021. AIBA Technical and Competition Rules. Viitattu 17.10.2021. https://www.aiba.org/wp-content/uploads/2021/09/AIBA-Technical-and-Competition-Rules_20.09.21.pdf.
- Anderson, P. & Hendriksson, J. 1977. Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibres. *Acta Physiol Scand*, 99: 123-125.
- Avela, J. & Komi, P. 1998. Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stiffness after long-lasting stretch-shortening cycle exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78, 403–410.
- Bahr, R., Hansson, P. & Sejersted, O. 1990. Triglyceride/fatty acid cycling is increased after exercise. *Metabolism: clinical and experimental*, 39 (9), 993-999.
- Bahr, R., Grønnerød, O. & Sejersted, O. 1992. Effect of supramaximal exercise on excess postexercise O₂ consumption. *Med Sci Sports Exerc*, 24 (1), 66-71.
- Baird, M., Graham, S., Baker, J. & Bickerstaff, G. 2011. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *Journal of Nutrition and Metabolism* 2012, 960363-13.
- Barbas, I., Fatouros, I., Douroudos, I., Chatzinikolaou, A., Michailidis, Y., Draganidis, D. & Jamurtas, A. 2010. Physiological and performance adaptations of elite greco-roman wrestlers during a one-day tournament Springer Science and Business Media LLC 111. doi:10.1007/s00421-010-1761-1767.
- Bar-Or, O. 1987. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*. 4 (6), 381–394.
- Barstow, T. 1994. Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 26 (11), 1327-1334.

- Bassett, D., Merrill, P. & Nagle, F. 1991. Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J Appl Physiol*, 70: 1816-1820.
- Baum, E., Fruck, K. & Schwennick, H. 1976. Adaptive modifications in the thermoregulatory system of long-distance runners. *J Appl Physiol*, 40 (3): 404-410.
- Beaver, W. L., Wasserman, K. & Whipp, B. J. 1986. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology* 60 (6), 2020-2027.
- Bellar, D. & Judge, L. 2012. Modeling and Relationship of Respiratory Exchange Ratio to Athletic Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(9), 2484–2489.
- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L., Breaux, M. & Marcus, L. 2015. The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in HIT exercise. *Biology of Sport* 32 (4), 315-320.
- Bentley, D., Newell, J. & Bishop, D. 2007. Incremental exercise test design and analysis: Implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine (Auckland)* 37 (7), 575-586.
- Bijker, K., de Groot, G. & Hollander, A. 2002. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European Journal of Applied Physiology* 87 (6), 556-561.
- Billat, V., Renoux, J., Pinoteau, J., Petit, B & Koralsztein, J. 1995. Times to exhaustion at 90,100 and 105% of velocity at VO_2 max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Arch. Physiol. Biochem.* 103, 129–135.
- Black, M., Jones, A., Blackwell, J., Bailey, S., Wylie, L., McDonagh, S. & Thompson, C. 2016. Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains *American Physiological Society* 122.
- Bogdanis, G., Nevill, M & Boobis, L. 1995. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol*, 482: 467-480.
- Bonifazi, M., Bela, E., Carli, G., Lodi, L., Martelli, G., Zhu, B. & Lupo, C. 1995. Influence of training on the response of androgen plasma-concentrations to exercise in swimmers. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, Vol.70(2), 109-114.
- Boullousa, D. & Tuimil, J. 2009. Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res*, 23: 1560–1565.

- Borghouts, L. & Keizer, H. 2000. Exercise and Insulin Sensitivity: A Review. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 1–12.
- Boyas, S. & Guével, A. 2011. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* 54 (2), 88-108.
- Burnley, M., Doust, J. & Vanhatalo, A. 2006. A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38 (11), 1995-2003.
- Burt, D. & Twist, C. 2011. The effects of exercise-induced muscle damage on cycling time-trial performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (8), 2185-2192.
- Bush, J., Kraemer, W., Mastro, A., Triplett-Mcbride, N., Volek, J., Putukian, M. Sebastianelli, W. & Knuttgen, H. 1999. Exercise and recovery responses of adrenal medullary neurohormones to heavy resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, Vol.31(4), 554-559.
- Byrnes, W., Clarkson, P., White, J., Hsieh, S., Frykman, P. & Maughan, R. 1985. Delayed onset muscle soreness following repeated bouts of downhill running. *Journal of applied physiology* 59 (3), 710-715.
- Cadefau, J., Green, H., Cusso, R., Ball-Burnett, M. & Jamieson, G. 1994. Coupling of muscle phosphorylation potential to glycolysis during work after short-term training. *Journal of Applied Physiology* 76 (6), 2586-2593.
- Callan, S., Brunner, D., Devolve, K., Hesson, J., Wilber, R. & Kearney, J. 1998. Physiological profiles of elite freestyle wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30, 34.
- Camus, G., Juchmes, J. & Thys, H. 1988. Relation entre le temps limite et la consommation maximale d'oxygene dans la course supramaximale. *J Physiol* 83, 26-33.
- Caputo, F. & Denadai, B. 2004. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology* 93 (1), 87-95.
- Carroll, T., Taylor, J. & Gandevia, S. 2017. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol*, 122, 1068–1076.
- Chino, K., Saito, Y., Matsumoto, S., Ikeda, T. & Yanagawa, Y. 2014. Investigation of exercise intensity during a freestyle wrestling match. *J Sports Med Phys Fitness*. 55(4):290-296.

- Cipryan, L., Tschakert, G. & Hofmann, P. 2017. Acute and post-exercise physiological responses to high-intensity interval training in endurance and sprint athletes. *Journal of Sports Science & Medicine* 16 (2), 219-229.
- Cook, C. & Beaven, C. 2013. Individual perception of recovery is related to subsequent sprint performance. *Br J Sports Med* 47: 705–709.
- Cormack, S., Newton, R., McGuigan, M. & Doyle, T. 2008. Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 3 (2), 131-144.
- Coyle, E. 1995. Integration of the Physiological Factors Determining Endurance Performance Ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23, 25-64.
- Cerbett, J., Barwood, M., Ouzounoglou, A., Thelwell, R. & Dicks, M. 2012. Influence of competition on performance and pacing during cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 44 (3), 509-515.
- Coswig, V., Gentil, P., Bueno, J., Follmer, B., Marques, V & Del Vecchio, F. 2018. Physical fitness predicts technical-tactical and time-motion profile in simulated judo and brazilian jiu-jitsu matches. *PeerJ (San Francisco)*, Vol.6, 4851.
- Daly, W., Seegers, C., Rubin, D., Dobridge, J. & Hackney, A. 2005. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology* 93, 4, 375–380.
- Darr, K., Bassett, D., Morgan, B. & Thomas, D. 1988. Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology* 254 (2), 340-343.
- De Feo, P., Di Loreto, C., Lucidi, P., Murdolo, G., Parlanti, N., De Cicco, A. & Piccioni, F. 2003. Metabolic response to exercise. *Journal of Endocrinological Investigation* vol. 26, 851–854.
- Döbeln, W., Åstrand, I. & Bergström, A. 1967. An analysis of age and other factors related to maximal oxygen. *J. Appl. Physiol.* 22 (5): 934-938.
- Engel, F., Härtel, S., Wagner, M., Strahler, J., Bös, K. & Sperlich, B. 2014. Hormonal, metabolic, and cardiorespiratory responses of young and adult athletes to a single session of high-intensity cycle exercise. *Pediatric Exercise Science* 26 (4), 485-494.

- Faisal, A., Beavers, K., Robertson, A. & Hughson, R. 2009. Prior moderate and heavy exercise accelerate oxygen uptake and cardiac output kinetics in endurance athletes. *Journal of Applied Physiology* 106 (5), 1553-1563.
- Febbraio, M., Lambert, D., Starkie, R., Proietto, J. & Hargreaves, M. 1998. Effect of epinephrine on muscle glycogenolysis during exercise in trained men. *Journal of Applied Physiology* 84 (2), 465-470.
- Fernandez-del-Olmo, M., Rodriguez, F., Marquez, G., Iglesias, X., Marina, M., Benitez, A., Vallejo, L. & Acero, R. 2013. Isometric knee extensor fatigue following a wingate test: Peripheral and central mechanisms. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 23 (1), 57-65.
- Fridén, J., Sjöström, M. & Ekblom, B. 1983. Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *International Journal of Sports Medicine* 4 (3), 170-176.
- Friedmann, B. & Kindermann, W. 1989. Energy metabolism and regulatory hormones in women and men during endurance exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 59 (1-2), 1-9.
- Fukuba, Y. & Whipp, B. 1999. A metabolic limit on the ability to make up for lost time in endurance events. *Journal of Applied Physiology* 87 (2), 853-861.
- Gaesser, G. & Brooks, G. 1984. Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Med Sci Sports Exerc*, 16: 29-43.
- García-Pinillos, F., Párraga-Montilla, J., Soto-Hermoso, V., Salas-Sánchez, J. & Latorre-Román, P. 2016. Acute metabolic, physiological and neuromuscular responses to two high-intensity intermittent training protocols in endurance runners. *Isokinetics and Exercise Science* 24 (2), 99-106.
- Gastin, P. 2001. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741.
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T. & Sleivert, G. 2015. Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (9), 2522-2531.
- Gledhill, N., Cox, D. & Jamnik, R. 1994. Endurance athletes' stroke volume does not plateau major advantage is diastolic function. *Medicine and science in sports and exercise*, 26 (9), 1116-1121.

- Godfrey, R., Madgwick, Z. & Whyte, G. 2003. The exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports Medicine*, 33(8), 599–613.
- Gomes, J., Mendes, R., Franca, C., DaSilva-Grigoletto, M., Pereira da Silva, D. & Antonioli, A. 2020. Acute leucocyte, muscle damage, and stress marker responses to high-intensity functional training. *PLoS ONE* 15(12).
- Goodman, J., Liu, P. & Green, H. 2005. Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *Journal of Applied Physiology* 98 (2), 454-460.
- Gore, C. & Withers, R. 1990. Effect of exercise intensity and duration on postexercise metabolism. *Journal of applied physiology*, 68 (6), 2362-2368.
- Greiwe, J., Hickner, R., Shah, S., Cryer, P. & Holloszy, J. 1999. Norepinephrine response to exercise at the same relative intensity before and after endurance exercise training. *Journal of Applied Physiology* Feb 1999, 86(2), 531-535.
- Hackney, A., Hosick, K., Myer, A., Rubin, D. & Battaglini, C. 2012. Testosterone responses to intensive interval versus steady-state endurance exercise. *Journal of Endocrinological Investigation* 35 (11), 947-950.
- Hamilton, A., Nevill, M. & Brooks, S. 1991. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance trained runners and games players. *J Sports Sci*, 9: 371-382.
- Harden, M., Wolf, A., Hicks, K & Howatson, G. 2018. Familiarisation, reproducibility, sensitivity and joint angle specificity of bilateral isometric force exertions during leg press. *Isokinetics and Exercise Science* 26 (4), 291-298.
- Hayes, L., Grace, F., Baker, J. & Sculthorpe, N. 2015. Exercise-induced responses in salivary testosterone, cortisol, and their ratios in men: A meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland)* 45 (5), 713-726.
- Hibbert, A., Billaut, F., Varley, M. & Polman, R. 2017. Familiarization protocol influences reproducibility of 20-km cycling time-trial performance in novice participants *Frontiers Media SA* 8.
- Hickson, R., Hagberg, J., Ehsani, A. & Holloszy, J. 1981. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 13(1), 17-20.
- Hochachka, P. & Matheson, G. 1992. Regulating ATP turnover rates over broad dynamic work ranges in skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 73(5), 1697–1703.

- Hogan, M., Gladden, L., Kurdak, S. & Poole, D. 1995. Increased lactate in working dog muscle reduces tension development independent of pH. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27 (3), 371-377.
- Holmberg, H., Rosdahl, H. & Svedenhag, J. 2007. Lung function, arterial saturation and oxygen uptake in elite cross country skiers: Influence of exercise mode. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17 (4), 437-444.
- Hultman, E., Bergstrom, J. & McLenan-Anderson, N. 1967. Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scand J Clin Invest*, 19: 56-66.
- Hyatt, J. & Clarkson, P. 1998. Creatine kinase release and clearance using MM variants following repeated bouts of eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 30:1059.
- Hynynen, E. 2016. Hengitys- ja verenkiertoelimistö. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvalmennus. 1. painos*. Lahti. VK-Kustannus Oy, 117–127.
- Häkkinen, K. & Ahtiainen, J. 2016. Hormonaalinen järjestelmä ja kuormitus. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvalmennus. 1. painos*. Lahti. VK-Kustannus Oy, 140–146.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W., Newton, R. & Alen, M. 2000. Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *The Journals of Gerontology*, Vol.55A(2), 95-105.
- IMMAF, International Mixed Martial Arts Federation. 2021. IMMAF Statues. Viitattu 17.10.2021. https://immaf.org/wp-content/uploads/2021/02/IMMAF-Statutes-2021-Edition_Final.pdf
- Ivy, J. 1998. Glycogen Resynthesis After Exercise: Effect of Carbohydrate Intake. *International Journal of Sports Medicine*, 19(S 2), 142–145.
- Kemp, G., Taylor, D. & Radda, G. 1993. Control of phosphocreatine resynthesis during recovery from exercise in human skeletal muscle. *NMR in Biomedicine* 6 (1), 66-72.
- Klossner, S., Däpp, C., Schmutz, S., Vogt, M., Hoppeler, H. & Flück, M. 2007. Muscle transcriptome adaptations with mild eccentric ergometer exercise. *Pflügers Archiv* Vol.455 (3), 555-562.

- Knuiman, P., Hopman, M. & Mensink, M. 2015. Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutrition & metabolism*, Vol.12 (1), 59.
- Kraemer, W., Gordon, S., Fleck, S., Marchitelli, L., Mello, R., Dziados, J., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C. & Fry, A. 1991. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med.* 12, 2, 228–235.
- Kraemer, W., Fleck, S., Maresh, C., Ratamess, N., Gordon, S., Goetz, K. & Patton, J. 1999. Acute Hormonal Responses to a Single Bout of Heavy Resistance Exercise in Trained Power Lifters and Untrained Men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24(6), 524–537.
- Kraemer, W. Fry, A., Fleck, S., Rubin, M., Triplett-Mcbride, T., Gordon, S. & Koziris, L. 2001. Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (8), 1367-1378.
- Kraemer, W. & Ratamess, N. 2005. Hormonal Responses and Adaptations to Resistance Exercise and Training. *Sports Medicine*, 35(4), 339–361.
- Laforgia, J., Withers, R. & Gore, C. 2006. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences* 24 (12), 1247-1264.
- Lamberts, R. & Lambert, M. 2009. Day-to-day variation in heart rate at different levels of sub-maximal exertion: Implications for monitoring training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (3), 1005-1010.
- Le Meur, Y., Louis, J. & Aubry, A. 2014. Maximal exercise limitation in functionally over-reached triathletes: Role of cardiac adrenergic stimulation. *J Appl Physiol*, 117: 214–222.
- Liu, M., Walter, G., Pathare, N., Forster, R. & Vandenborne, K. 2007. A quantitative study of bioenergetics in skeletal muscle lacking carbonic anhydrase III using ³¹P magnetic resonance spectroscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS* 104 (1), 371-376.
- Maimoun, L., Coste, O., Philibert, P., Briot, K., Mura, T., Galtier, F., Castes-de-Paulet, B., Mariano-Goulart, D., Sultan, C. & Paris, F. 2013. Testosterone secretion in elite

- adolescent swimmers does not modify bone mass acquisition: A 1-year follow-up study. *Fertility and Sterility* 99 (1), 270-278.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2001. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 5. painos. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2015. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- McLellan, T. & Skinner, J. 1982. Blood lactate removal during active recovery related to aerobic threshold. *Int J Sports Med*, 3:224.
- Messonnier, L., Freund, H., Denis, C., Dormois, D., Dufour, A. & Lacour, J. 2002. Time to Exhaustion at VO²max is Related to the Lactate Exchange and Removal Abilities. *International Journal of Sports Medicine* 23: 433-438.
- Moore, R. & Brown, D. 2012. *The Cardiovascular System: Cardiac Function*. Teoksessa Farrell, P., Joyner, M., Caiozzo, V. *ACSM's Advanced Exercise Physiology*. 2. painos. Philadelphia. Lippincott.
- Newham, D., Mcphail, G., Mills, K. & Edwards, R. 1983. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *Journal of the neurological sciences*, Vol.61 (1), 109-122.
- Nilsson, J., Csörgö, S., Gullstrand, L., Tveit, P. & Refsnes, P. 2002. Work-time profile, blood lactate concentration and rating of perceived exertion in the 1998 greco-roman wrestling world championship. *Journal of Sports Sciences* 20 (11), 939-945.
- Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M. & Sacco, P. 2001. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 33: 1490–1495.
- Nummela, A. 2016. *Energia-aineenvaihdunta*. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvalmennus*. 1. painos. Lahti. VK-Kustannus Oy, 128–139.
- Nummela, A. & Peltonen, J. 2018. *Kestävyyden fysiologiset perusteet*. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2018. *Fyysisen kunnan mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaajille*. Helsinki. Grano Oy. 79–101.
- Ørtenblad, N., Nielsen, J., Saltin, B. & Holmberg, H. 2011. Role of glycogen availability in sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ kinetics in human skeletal muscle. *J Physiol*. 589, 711–725.

- Ørtenblad, N., Westerblad, H. & Nielsen, J. 2013. Muscle glycogen stores and fatigue. *The Journal of Physiology* 591 (18), 4405-4413.
- Paavolainen, L., Nummela, A & Rusko, H. 1999. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5 km running performance. *Med Sci Sports Exerc* 31, 124-130.
- Peake, J., Neubauer, X., Della Gatta, P. & Nosaka, K. 2017. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol* 122: 559–570.
- Peltonen, J. & Nummela, A. 2018. Kestävyyden fysiologiset perusteet. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2018. Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille. Helsinki. Grano Oy. 64–78.
- Penailillo, L., Blazeovich, A., Numazawa, H. & Nosaka, K. 2013. Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 45 (9), 1773-1781.
- Pierpont, G., Stolpman, D. & Gornick, C. 2000. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *Journal of the Autonomic Nervous System* 80 (3), 169-174.
- Pollock, M., Bohannon, R., Cooper, K., Ayres, J., Ward, A., White, S. & Linnerud, A. 1976. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am Heart J* 92, 39-46.
- Russell, A., Lamon, S., Boon, H., Wada, S., Güller, I., Brown, E. & Chibalin, A. 2013. Regulation of miRNAs in human skeletal muscle following acute endurance exercise and short-term endurance training. *The Journal of Physiology* 591 (18), 4637–4653.
- Sarkkinen, P. 2016. *Kamppailulajit*. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S. & Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvalmennus*. 1. painos. Lahti. VK-Kustannus Oy, 545–555.
- Sayers, S. & Clarkson, P. 2001. Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European Journal of Applied Physiology* 84 (1), 122-126.
- Sedlock, D. 1994. Fitness level and postexercise energy metabolism. *J Sports Med Phys Fitness*, 34: 336-342.
- Seiler S., Haugen, O. & Kuffel, E. 2007. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39 (8), 1366-1373.
- Seiler, S. & Tønnessen, E. 2009. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sports Science*, 13: 32–53.

- Short, K. & Sedlock, D. 1997. Excess postexercise oxygen consumption and recovery rate in trained and untrained subjects. *Journal of applied physiology*, 83 (1), 153-159.
- Sinoway, L., Musch, J. & Minotti, J. 1986. Enhanced maximal metabolic vasodilation in the dominant arm of tennis players. *J Appl Physiol*, 61: 673-678.
- Škof, B. & Strojnik, V. 2006. Neuro-muscular fatigue and recovery dynamics following anaerobic interval workload. *International Journal of Sports Medicine* 27 (3), 220-225.
- Smith, L. 1992. Causes of Delayed Onset Muscle Soreness and the Impact on Athletic Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 6(3), 135–141.
- Sparling, P. 1980. A meta-analysis of studies comparing maximal oxygen uptake in men and women. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 51 (3), 542–552.
- Stanula, A., Rocznik, R., Maszczyk, A., Pietraszewski, P. & Zając, A. 2014. The Role of Aerobic Capacity in High-Intensity Intermittent Efforts in Ice-Hockey. *Biology of Sport* 31 (3), 193–195.
- Taoutaou, Z., Granier, P. & Mercier, B. 1996. Lactate kinetics during passive and partially active recovery in endurance and sprint athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73: 465-470.
- Taylor, D., Bore, P. & Styles, P. 1893. Bioenergetics of intact human muscle: a nuclear magnetic resonance study. *Mol Biol Med*, 1: 77-94.
- Taylor, D., Styles, P., Matthews, P., Arnold, D., Gadian, D., Bore, P. & Radda, G. 1986. Energetics of human muscle: Exercise-induced ATP depletion. *Magnetic Resonance in Medicine* 3 (1), 44-54.
- Tesch P. & Wright, J. 1983. Recovery from short term intense exercise; its relation to capillary supply and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol*, 52: 98-103.
- Thoden, J. 1991. Testing aerobic power. Teoksessa: MacDougall, J., Wenger, H., Green, H. 1991. *Physiological testing of the high-performance athlete*. Champaign (IL): Human Kinetics, 107-174.
- Tomlin, D. L. & Wenger, H. A. 2001. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine (Auckland)* 31 (1), 1-11.
- Tschakert, G. & Hofmann, P. 2013. High-Intensity Intermittent Exercise: Methodological and Physiological Aspects. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(6), 600-610.

- United World Wrestling. 2019. Wrestling rules. 9-12. Viitattu 17.10.2021. https://uww.org/sites/default/files/2019-12/wrestling_rules.pdf
- Váczai, M., Río-Rodríguez, D., Négyesi, J. & Fernández del Olmo, M. 2018. Acute neuromechanical modifications and 24-h recovery in quadriceps muscle after maximal stretch-shortening cycle exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 40, 64-71.
- Vincent, H., Powers, S., Stewart, D., Demirel, H., Shanely, R. & Naito, H. 2000. Short-term exercise training improves diaphragm antioxidant capacity and endurance. *European Journal of Applied Physiology* 81 (1), 67-74.
- Vucetic, V., Mozek, M. & Rakovac, M. 2015. Peak blood lactate parameters in athletes of different running events during low-intensity recovery after ramp-type protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (4), 1057-1063.
- Vuorimaa, T., Vasankari, T. & Rusko, H. 2000. Comparison of Physiological Strain and Muscular Performance of Athletes During Two Intermittent Running Exercises at the Velocity Associated with VO_2^{max} . *Int J Sports Med*, 21, 96-101.
- Vyntus. 2017. Instructions to Use Vyntus SPIRO/PNEUMO/IOS/APS/CPX/ECG. CareFusion Germany 234 GmbH, Hoechberg.
- Wagner, P. 1996. Determinants of Maximal Oxygen Transport and Utilization. *Annual Review of Physiology*, 58(1), 21–50.
- Walsh, B., Tonkonogi, M., Malm, C., Ekblom, B. & Sahlin, K. 2001. Effect of eccentric exercise on muscle oxidative metabolism in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (3), 436-441.
- Watson, A., Brickson, S., Prawda, E. & Sanfilippo, J. 2017. Short-term heart rate recovery is related to aerobic fitness in elite intermittent sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (4), 1055-1061.
- Weltman, A., Bryant, A., Stamford, R., Moffatt, J. & Katch, L. 1977 Exercise Recovery, Lactate Removal, and Subsequent High Intensity Exercise Performance, *Research Quarterly*. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation, 48:4, 786-796.
- Weltman, A., Weltman, J., Womack, C., Davis, S., Blumer, J., Gaesser, G. & Hartman, M. 1997. Exercise training decreases the growth hormone (GH) response to acute constant-load exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 29(5), 669-676.

- West, D. & Phillips, S. 2011. Associations of exercise-induced hormone profiles and gains in strength and hypertrophy in a large cohort after weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (7), 2693–2702.
- Williams, M., Bradshaw, E. & Maschette, W. 2007. Measurement agreement (repeatability) for a countermovement jump protocol using a portable forceplate. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2 (4), 445-448.
- Winegarden, A., Lebrun, C., Passfield, L. & Doyle-Baker, P. 2021. Three km track time trial performance changes after HIIT in competitive cross-country skiers. *International Journal of Kinesiology and Sports Science* 9 (1), 15-23.
- Wyatt, F., 1999. Comparison of lactate and ventilatory threshold to maximal oxygen consumption: A meta-analysis. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, Vol.13 (1), 67-71.
- Yoshida, T., Udo, M., Ohmori, T., Matsumoto, Y., Uramoto, T. & Yamamoto, K. 1992. Day-to-day changes in oxygen uptake kinetics at the onset of exercise during strenuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 64 (1), 78-83.
- Zhang, Y., Johnson, M., Chow, N. & Wasserman, K. 1991. Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 23, 625-630.