

**FYYSISTEN KUNTO-OMINAISUUKSIEN YHTEYS
KESTÄVYYSURHEILIJOIDEN LOPPUKIRIKYKYYN**

Leena Pirkola

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma

Kevät 2017

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Juha Ahtiainen

TIIVISTELMÄ

Leena Pirkola 2017. Fyysisten kunto-ominaisuuksien yhteys kestävyysurheilijoiden loppukirikyyn. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, kandidaatintutkielma, 53 s.

Johdanto. Loppukirikyky on kestävyys suorituksissa tärkeä ominaisuus. Sitä ei ole kuitenkaan juurikaan tutkittu, mutta on viitteitä siitä, että anaerobiset sekä voimaominaisuudet ovat hyödyksi kestävyys suorituksen loppuosassa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mitkä fyysiset kunto-ominaisuudet voidaan yhdistää hyvään loppukirikyyn.

Menetelmät. Tutkittavina toimi kymmenen perustervettä 25–39-vuotiasta mies- ja naiskestävyysurheilijaa, jotka käyttivät harjoitusmuotonaan juoksua. Tutkittavat suorittivat viisi voima- ja anaerobisia ominaisuuksia kartoittavaa testiä: vakiotehoinen happivajetesti juoksumatolla, 1RM jalkaprässissä, tehosuoritus jalkaprässissä, vauhditon pituushyppy sekä 20 m lentävä nopeustesti, ja lisäksi mitattiin happivajetestin jälkeen veren maksimilaktaattikonsentraatio. Loppukirikykytestinä käytettiin tätä tutkimusta varten kehitettyä juoksumatolla suoritettua loppukirikykytestiä, jossa vauhtia kiihdytettiin 20 minuutin anaerobisella kynnyksellä juoksun jälkeen 15 sekunnin välein alkuperäiseen nopeuteen nähden 10 % kerrallaan. Tutkittujen muuttujien ja loppukirikyvyn väliltä tarkasteltiin korrelaatioita.

Tulokset. Mikään tutkituista muuttujista ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä loppukirikykyyn. Suurin yhteys havaittiin anaerobisen kapasiteetin ja loppukirikyvyn välillä ($r=0.426$, $p=0.219$). Yhteys oli kohtalaista muiden muuttujien paitsi vauhdittoman pituuden suhteen ja suhteellisen 1RM:n suhteen, joiden kohdalla riippuvuus oli heikkoa.

Pohdinta ja johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella loppukirikykyä ei voida selittää minkään yksittäisen voima- tai anaerobisen ominaisuuden perusteella. Tutkimustulos ei kuitenkaan anna perusteita sulkea pois kyseisten ominaisuuksien tärkeyttä kestävyys suoritukselle ylipäätään. Aihe on menetelmällisesti haastava, joten sitä mahdollisuutta, että loppukirikykyä selittävä tekijä löytyisi tutkittujen muuttujien joukosta, ei voida tämän tutkimuksen perusteella sulkea pois.

Avainsanat: loppukiri, kestävyysjuoksu, suorituskyky

KÄYTETYT LYHENTEET

AMP	adenosiinimonofosfaatti
AnK	anaerobinen kynnys
ATP	adenosiinitrifosfaatti
ATPaasi	adenosiinitrifosfataasi
Blamax	veren maksimilaktaattikonsentraatio
BMI	body mass index, kehon massaindeksi
CGM	central governorn model, keskushermostojohtoinen väsymysmalli
EMG	elektromyografia
GRF	ground reaction force, kontaktivoima
KP	kreatiinifosfaatti
MART	maximal anaerobic running test, maksimaalinen anaerobinen juokсутesti
MAOD	maximal accumulated oxygen deficit, maksimaalinen happivaje
MVC	maximal voluntary contraction, maksimaalinen tahdonalainen supistus
NAD	nikotiiniamidiadeniininukleotidi
NA-K	natrium-kalium
PAP	post activation potentiation
RFD	rate of force developmet, voimantuoton kasvunopeus
SSC	stretch-shortening cycle, venymis-lyhenemissyklus
VO ₂ max	maximal oxygen uptake, maksimaalinen hapenottokyky
V _{mart}	MART-testin huippunopeus
vVO ₂ max	maksimaalisen hapenottokykytestin loppunopeus
V _{30m}	30 m maksiminopeus
1RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LOPPUKIRIN LUONNE.....	2
3	ANAEROBINEN KAPASITEETTI JA LOPPUKIRI.....	5
3.1	Anaerobinen kapasiteetti	5
3.2	Anaerobinen kapasiteetti loppukirissä.....	6
3.3	Maksimilaktaatti	8
4	HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUDET JA LOPPUKIRI	11
4.1	Maksimivoima ja nopeusvoima.....	11
4.2	Maksimivoima ja nopeusvoima loppukirissä	12
4.3	Nopeus	14
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	15
6	MENETELMÄT.....	17
6.1	Tutkittavat.....	17
6.2	Koeasetelma.....	18
6.3	Aineiston keruu ja analysointi	20
6.3.1	Esitiedot ja kehonkoostumus	20
6.3.2	Anaerobinen kapasiteetti	21
6.3.3	Nopeus	23
6.3.4	Voima	23
6.3.5	Loppukiri	26
6.4	Tilastollinen analysointi	27

7 TULOKSET	28
7.1 Anaerobinen kapasiteetti	29
7.2 Maksimilaktaatti	30
7.3 Maksimi- ja nopeusvoima	31
7.4 Nopeus	34
8 POHDINTA.....	35
LÄHTEET	45

1 JOHDANTO

Vauhdin kiristämiskyky on kestävyysmatkoilla tärkeä ominaisuus. Esimerkiksi 5 000 m ja 10 000 m maailmanennätysjuoksut koostuvat lähes poikkeuksetta nopeasta alusta ja lopusta keskiosan ollessa melko tasavauhtinen (Tucker ym. 2006). 34 maailmanennätysjuoksusta 33 on juostu tällä kaavalla; ainoastaan kerran toiseksi viimeinen kilometri on ollut nopein. Tällä strategialla kirin teko on näillä matkoilla mahdollista, koska keskimatkan aikana säästetty juoksuresservi voidaan käyttää lopussa hyödyksi. Ilmiö on vielä huonosti ymmärretty, eikä minkään fysiologisen muuttujan ole todettu suoraan heikentävän lihaksen kykyä tuottaa voimaa: kyky edelleen lisätä juoksunopeutta kilpailun lopussa on tästä hyvä osoitus. (Tucker ym. 2006.)

Miten loppukiri sitten määritellään? Useissa tutkimuksissa loppukirillä tarkoitetaan hyvinkin pitkää suorituksen loppuosaa, jossa vauhtia kiristetään aiempaan matkavauhtiin nähden (Hansen ym. 2012; Renfree ym. 2012). Toisaalta 400 metrin kiri on juosten tehdyissä tutkimuksissa käytetty (Lima-Silva ym. 2010; Guimaraes Couto ym. 2015), ja se kuuluuikin perinteisesti 10 000 m juoksun vauhdinjakotaktiikkaan (Guimaraes Couto ym. 2015). Loppukirillä voidaan ymmärtää myös esimerkiksi loppusuoran viimeisen sadan metrin kiri. Loppukirin tarkka määrittely on tärkeää, jotta voidaan keskittyä oikeiden ominaisuuksien tutkimiseen – vaatiihan esimerkiksi kahden kilometrin kiri aivan erilaisia ominaisuuksia kuin muutaman sadan metrin kiri. Tässä tutkimuksessa loppukirisuoritus on määritelty lyhyeksi alle minuutin mittaiseksi suoritukseksi.

Loppukiritutkimusta on tehty suhteellisen vähän, eivätkä siihen liittyvät suorituskykyominaisuudet ole selvillä. Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää, mitkä fyysiset ominaisuudet liittyvät loppukirikykyyn. Suoritusta ja sen vaatimia ominaisuuksia voidaan tarkastella sen vaatimien energiantuotollisten sekä hermolihasjärjestelmän ominaisuuksien valossa. Loppukiriin liittyy erityisyytenä lisäksi se, että siihen lähdetään väsyneessä tilassa, kun takana on jo lähes loppuun asti suoritettu kestävyysuoritus.

2 LOPPUKIRIN LUONNE

Loppukiriä voisi ajatella pikajuoksuksi, johon lähdetään väsyneessä tilassa, ja jota edeltää rytminmuutos. Hyvä loppukirikyky vaatii siis hyvää liikkumisnopeutta ja kykyä käyttää sitä väsyneessä tilassa.

Liikkumisnopeudella tarkoitetaan nopeaa siirtymistä paikasta toiseen ja se sisältää sekä vaki-nopeuden että kiihdyttämisvaiheen (Mero ym. 2007). Teknillisesti juoksu koostuu askelpi-tuudesta ja -frekvenssistä; juoksunopeuden kasvaessa molemmat näistä lisääntyvät. Pikajuok-sussa vaaditaan suurta voiman- ja tehontuottoa. Askelkontaktin alussa törmäysvoimat ovat suuret, joten on tärkeää, että jalan ojentajalihakset ovat aktivoituneet ja jäykkyys on suuri en-nen törmäystä. Huippu-GRF (ground reaction force) ilmenee hyvin pian (10–40 ms) kontaktin alun jälkeen, joten lihasten riittävään aktivoimiseen ei ole aikaa, jos se aloitetaan vasta kon-taktin alussa. Esiaktiivisuuden ja kontaktin alun aikaiset tapahtumat ovat tärkeitä, jotta saavu-tetaan suuri voimantuotto ja tehokkuus työntövaiheessa. (Mero ym. 1992.)

Energiantuotollisesti puhdas 200 metrin pikajuoksu, jota pituudeltaan voidaan verrata loppu-kiriin, juostaan 65-prosenttisesti anaerobisen glykolyysin avulla, 25 % käytetystä energiasta tulee KP (kreatiinifosfaatti) -varastoista ja loput 10 % aerobisesti. (Newsholme ym. 1992, Nummelan 2004 mukaan). Maughanin ja Gleesonin (2010, 74) mukaan kyseisellä matkalla energiasta 80 % tuotetaan anaerobisesti ja loput aerobisesti. Kestävyyssuorituksissa aerobisen energiantuoton osuus on alussa suuri, mutta suorituksen edetessä anaerobisen energiantuoton osuus lisääntyy. Damascenon ym. (2015) tutkimuksessa maksimaalisessa väsytyljuoksussa (nopeutta nostettiin 1 km/h 3 minuutin välein) aerobisen energiantuoton osuus oli 13 km/h nopeudella 94,6 % ja 18 km/h nopeudella 82,9 %, kun taas anaerobinen energiantuotto nousi 5,4 %:sta 17,1 %:iin. Lähtötilanne loppukirille onkin usein se, että väsymystä on ehtinyt jo muodostua. Anaerobisen glykolyysin käytön lisääntyessä vetyionien tuotto ja siten happa-muus lisääntyy (Robergs ym. 2004). Happamoituminen voi aiheuttaa väsymystä ja heikentää suoritusta esimerkiksi inhiboimalla glykolyysin avainentsyymien toimintaa tai vähentämällä kalsiumin herkkyyttä tai vapautumista sarkoplasmisesta retikulumista (Westerblad 2016).

Loppukiriä ei voida siis verrata suoraan saman pituiseen ja saman tehoiseen tuoreena juostuun matkaan, koska loppukirissä on tärkeää pystyä toimimaan tehokkaasti väsyneessä tilassa.

Loppukirissä vauhti kasvaa äkillisesti aiempaan vauhtiin nähden, joten tarvitaan selvä lisäys energian- ja tehontuotossa. Hickner ym. (2010) esittävät Hultmaniin ym. (1996) viitaten, että lisääntynyt lihasten kreatiinipitoisuus voisi lisätä loppukirin suorituskykyä kestävyysuorituksen lopussa, koska kreatiinifosfaatti on ATP:n (adenosiinitrifosfaatti) uudelleenmuodostuksen päälähte lyhytkestoisissa maksimaalisissa suorituksissa. Heidän mukaansa on kuitenkin ristiriitaista tutkimusta siitä, auttaako kreatiinilisä pitkäkestoisissa suorituksissa: tuloksia molempiin suuntiin löytyy (Hickner ym. 2010). Kreatiinifosfaatti riittää vain muutamien sekuntien maksimaaliseen työhön (Maughan & Gleeson 2010, 77), mutta toisaalta se palautuu jo puolessa minuutissa puoleen alkuperäisestä arvosta (Maughan & Gleeson 2010, 182). Loppukirissä sitä voitaneen siis hyödyntää siinä laajuudessa mihin se riittää, vaikka sitä olisi käytetty jo alun kiihdytyksessä. Suurin rooli kirin keston ja tehon perusteella on luultavasti kuitenkin anaerobisella glykolyysillä.

Noakes (2011) näkee loppukirin yhdeksi mielenkiintoisimmista ilmiöistä urheilufysiologiassa: urheilija kykenee lisäämään vauhtiaan ja juoksemaan nopeinta vauhtia suorituksen lopussa - silloin, kun hänen pitäisi olla kaikkein väsynein. Hän kirjoittaa review-artikkelissaan kahdesta eri väsymysmallista, joiden avulla loppukiriä voidaan koittaa selittää. A. V. Hillin alkuperäisen väsymysmallin mukaan kykenemättömyys säilyttää homeostaasi aktiivisissa lihaksissa (perifeerinen väsymys) tai hermostossa (sentraalinen väsymys) aiheuttaa väsymisen ja suorituksen päättymisen. Tämä malli ei ota huomioon periferiasta saapuvaa palautetta, eikä sen avulla voida selittää, miten väsymys voi tapahtua ja suoritus päättyä myös silloin, kun kaikkia lihassoluja ole rekrytoitu. Tämän mallin avulla ei voida ymmärtää myöskään loppukiriä. (Noakes 2011.)

Sen sijaan CGM-mallin (central governorn model) mukaan periferiasta saapuva palaute vaikuttaa sentraalisen käskytyksen määrään ja siihen, millä laajuudella lihaksia rekrytoidaan (Noakes 2011). Jo ennen suoritusta ja jatkuvasti sen aikana aivot suorittavat alitajuisia las-

kelmia metabolisesta ”hinnasta” (metabolic cost), joka vaaditaan suorittamaan annettu suoritus ja laskevat sen suhteessa ympäristöön ja fysiologiseen tilaan (Gibson & Noakes 2004). Tämä malli ottaa huomioon fysiologiset ja psykologiset tekijät, kuten matkan pituuden, fysiologisen tilan, aiemman kokemuksen, motivaation ja käsityksen omasta pystyvyydestä (Noakes 2011). Alitajuiset osat informoivat tiedostavaa aivojen osaa lisääntyneestä ponnistelusta, joka liittyy mahdollisesti vaikeuteen säilyttää homeostaasi. Tämä koetaan aivoissa väsymyksen tunteena, jolloin aivot informoivat alitajuista osaa ja siten suoritusta kontrolloivia prosesseja. (Gibson & Noakes 2004.) Loppukiri on yhdistetty lisääntyneeseen EMG-aktiivisuuteen (elektromyografia) aktiivisissa lihaksissa (Ansley ym. 2004; Tucker ym. 2007; Noakes 2011), mikä vahvistaa CGM-väsymysmallin roolia ja sentraalisen ”motorisen driven” merkitystä (Noakes 2011).

Kay ym. (2001) tutkivat 60 minuutin pyöräilysuoritusta, joka sisälsi kuusi minuutin mittaista ”all-out”-spurtia. He huomasivat, että teho ja EMG vähenivät sprinteissä 2–5, kun taas viimeisessä sprintissä ne nousivat. Gibsonin ja Noakesin (2004) mukaan tämä osoittaa perifeerisen väsymysmallin mahdottomuuden: jos substraattien kertyminen aiheuttaisi tehon ja EMG:n vähennyksen ensimmäisissä sprinteissä, silloin ei olisi mahdollista enää lisätä tehoa viimeisessä sprintissä ja suorittaa loppukiriä.

Mielenkiintoista on myös se, että aivojen serotoniinin on todettu olevan yhteydessä loppukirin suorittamiskykyyn. Sitalopraamilla, joka estää välittäjäaine serotoniin takaisinottoa hermopäätteisiin, pystyttiin eräässä tutkimuksessa estämään loppukirin suorittaminen. (Roelands ym. 2013.) Roelandsin ym. (2013) mukaan tutkittavilla ei ollut motivaatiota tai kapasiteettia lisätä tehoa lopun lähestyessä, kun aivojen serotoniinin aktiivisuus oli lisääntynyt sitalopraamin käytön myötä.

3 ANAEROBINEN KAPASITEETTI JA LOPPUKIRI

3.1 Anaerobinen kapasiteetti

Anaerobisella kapasiteetilla tarkoitetaan maksimaalista ATP:n määrää, joka voidaan resyntetisoida anaerobisen energiantuoton avulla lyhyen maksimaalisen suorituksen aikana. Anaerobista kapasiteettia voidaan tutkia happivajeen sekä veren maksimilaktaatin avulla. (Green & Dawson 1993.)

Anaerobinen energiantuotto voidaan jakaa alaktiseen ja laktiseen osaan: ensimmäinen sisältää välittömät energianlähteet (ATP ja KP) ja jälkimmäinen glykolyyttisen systeemin (Gastin 2001). Anaerobisessa glykolyysissä energiaa tuotetaan glukoosista tai glykogeenistä 10 kemiallisen reaktion sarjassa, jonka lopputuotteena syntyy maitohappoa. Maitohappo hajoaa vety- ja laktaatti-ioneiksi. (Robergs ym. 2004; McArdle ym. 2015, 146) Mitä suurempi työskentelyteho on, sitä enemmän energiaa tuotetaan anaerobisesti ja sitä suuremmaksi laktaatin tuotto nousee (McArdle ym. 2015, 235). Hyvän anaerobisen kapasiteetin omaavan urheilijan onkin kyettävä tuottamaan paljon laktaattia. Toisaalta mitä enemmän tai nopeammin laktaattia tuotetaan, sitä paremmin solun täytyy kyetä vastustamaan pH:n muutosta joko vetyionien tehokkaalla siirtämisellä tai puskuroinnilla. (Maughan & Gleeson 2010, 237–238.) Glykolyysin toimintaa säätelevät monet glykolyyttiset entsyymit, kuten fosfofruktokinaasi. Esimerkiksi pH:n ja AMP (adenosiinimonofosfaatti) -konsentraation lasku vähentävät näiden entsyymien aktiivisuutta. (Gastin 2001.) Glykolyysin säätely on kaiken kaikkiaan hyvin monimutkainen tapahtuma, joka määräytyy useiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta (Maughan & Gleeson 2010, 237).

Anaerobinen kapasiteetti on tärkeässä roolissa suorituksissa, joiden kesto on 30–90 sekuntia (Nummela 2004). Aerobista ja anaerobista energiantuottoa käytetään yhtä paljon noin 1–2 minuutin mittaisessa maksimaalisessa suorituksessa; luultavimmin 75 sekuntia on lähimpänä oikeaa (Gastin 2001). Newsholmin ym. (1992, Nummelan 2004 mukaan) taulukon mukaan

10 000 m ratajuoksussa anaerobisen glykolyysin osuus on 3 %, aerobiseen energiantuottoon käytetään suurin osa, 97 % ja KP-varastoja käytetään kokonaisenergiantuotosta "vähän" mahdollisessa kiritilanteessa. Kun tarkastellaan esimerkiksi 10 000m maailmanennätysjuoksua, voidaan huomata, että vauhti on suorituksen keskiosassa tasaista, ja viimeinen kilometri on lähes poikkeuksetta nopein (Tucker ym. 2006). Samanlainen vauhdinjakostrategia on havaittu niin hitaammilla kuin nopeammillakin juoksijoilla 10 km:n juoksussa (Lima-Silva ym. 2010). Anaerobisen kapasiteetin merkitys lienee siten puolen tunnin suorituksessa suurin suorituksen loppuosassa. Mikäli urheilijalla on hyvä anaerobinen kapasiteetti, hän pystyy tuottamaan enemmän energiaa anaerobisesti myös lopussa, kun anaerobista energiantuottoa on ehditty suorituksen aikana jo käyttää ja happamoitumisen myötä syntyvää väsymystä on muodostunut, ja pystyy siten tehokkaampaan loppukiriin.

3.2 Anaerobinen kapasiteetti loppukirissä

Kuten mainittu, loppukiriä on tutkittu hyvin vähän. Ei ole suoraa tutkimusta siitä, onko hyvällä anaerobisella suorituskyvyllä yhteyttä hyvään loppukirikykyyn. On kuitenkin tutkimusta siitä, että aerobisen harjoittelun vähentäminen ja korvaaminen anaerobisella harjoittelulla säilyttää kestävyys suorituskyvyn samanlaisena ja jopa parantaa sitä (Iaia ym. 2008; Bangsbo ym. 2009; Iaia & Bangsbo 2010; Vorup ym. 2016). Iaian ym. (2008) tutkimuksessa kestävyys harjoittelleet juoksijat jaettiin kahteen ryhmään, joista toiset jatkoivat normaalia kestävyys harjoitteluaan ja toiset korvasivat sen 30 sekunnin sprinttiharjoittelulla. Sprinttiryhmällä kestävyys harjoittelun vähentäminen ja nopeus kestävyys harjoittelun lisääminen paransi 30 sekunnin sprinttitestin, supramaksimaalisten juokсутestien sekä sukkulajuoksun aikaa; myös väsytysoikeuden aika parani enemmän kuin kestävyysryhmällä. 10 km:n juokсутestin aika ei muuttunut kummallakaan ryhmällä. Parannusta selitetään Na-K-pumpun toiminnan paranemisella. (Iaia ym. 2008.)

Vorup ym. (2016) löysivät samansuuntaisia tuloksia: kestävyysjuoksijoilla yhdistetty voima- ja nopeus kestävyys harjoittelu johti 400 m juoksun, väsytysoikeuden (n. 6–7 min) ja maksimaalisen aerobisen nopeuden paranemiseen, mutta 10 km:n aika ei parantunut. Na-K -pumpun

alaysiköiden ilmeneminen kasvoi, ja maksimilaktaatti kyettiin nostamaan 32 % korkeammalle (Vorup ym. 2016). Bangsbo ym. (2009) sen sijaan havaitsivat parannuksen myös 10 km:n juoksuajassa 6–9 viikon harjoitusjakson jälkeen. Harjoittelumäärä oli nopeuskestävyyssryhmällä 25 % normaalia pienempi ja sisälsi 30 sekunnin sprinttiharjoittelua 3–4 kertaa viikossa. 30 s testin ja supramaksimaalinen väsytyljuoksun lisäksi parannusta havaittiin 3000 m ja 10 km juoksujen ajoissa. Hapenotto pysyi samana, ja jälleen kerran Na-K-pumpun alaysiköiden määrä kohosi huomattavasti. (Bangsbo 2009.) Iaia ym. (2010) esittävät review-artikkelissaan yhteenvedona, että nopeuskestävyysharjoittelu on hyödyllinen suorituskyvyn parantaja myös pidempien matkojen juoksijoille.

Vaikka anaerobinen suorituskykyisyys olisi yhteydessä kestävyysuorituskykyyn kokonaisuutena, sen yhteydestä suorituksen loppuosaan ei voida päätellä, ellei suorituksen eri osioita tutkita erikseen. Useiden tutkimusten mukaan ainakin keskipituisissa pyöräilyuorituksissa suorituksen loppuosassa anaerobisen energiantuoton osuus kasvaa alkuun nähden (Foster ym. 2004; Noordhof ym. 2013). Esimerkiksi 3 000 metrin pyöräilyssä anaerobisen energiantuoton osuus nousi viimeisellä 200 metrillä 84 watista 111 wattiin, kun aerobisella energiantuotolla tuotettu teho nousi 4 W (Foster ym. 2004). Lisäksi Hettinga ym. (2006) huomasivat, että mikäli kestävyysuorituksen alkuosa on submaksimaalinen, suorituksen lopussa käytettävä anaerobisen energiantuoton osuus alkuosaan verrattuna kasvaa.

Van Thienen ym. (2009) huomasivat, että beeta-alaniinin käyttö paransi loppukirin huipputehoa 11,4 % kahden tunnin pyöräilyuorituksessa. Beeta-alaniinin uskotaan lisäävän lihaksen sisäistä karnosiinipitoisuutta, jolloin lihaksen puskurointikyky kasvaa ja väsymys sitä kautta viivästyy (Bellinger 2014). Mikäli puskurointikyvyn parantaminen parantaa loppukirikykyä, voidaan ajatella, että loppukirikyky on yhteydessä siihen mekanismiin, joka toimii paremmin, kun puskurointikyky kasvaa. Tämä mekanismi on juuri anaerobinen energiantuotto.

Juoksijoilla energiantuoton jakaantumista suorituksen eri vaiheissa tutki Bertuzzi kumppaneineen (2014): he erittelivät tutkimuksessaan 10 km juoksuuorituksen alku-, keski- ja loppuosaan. Suorituksen keskiosan (0,4–9,6 km) parhaimmat määrittäjät olivat juoksumattotestin

huippunopeus, VO₂max (maximal oxygen uptake) ja 1RM (one-repetition maximum), mikä kertoo ATP:n aerobisen tuotosta sekä venymis-lyhenemissykluksen (SSC, stretch-shortening cycle) tärkeydestä keskiosassa. Viimeisen 400 metrin parhaimmaksi yksittäiseksi ennustajaksi havaittiin ainoastaan juoksumattotestin loppunopeus. (Bertuzzi ym. 2014.) VO₂max- ja 1RM-arvojen puuttuminen tältä loppuosan määrittäjien listalta vahvistaa näkemystä anaerobisen puolen tärkeydestä nimenomaan kestävyysuorituksen lopussa. Tutkijoidenkin mukaan tähän nopeuteen ei vaikuta ainoastaan aerobinen vaan myös anaerobinen puoli, ja yhteys voi olla selitettävissä loppukirin ja anaerobisen energiantuottoyvyn yhteydellä (Bertuzzi ym. 2014).

On tutkimusta myös siitä, että lihaksen niin sanotut tehotekijät eli hermolihasjärjestelmään ja anaerobisiin ominaisuuksiin liittyvät tekijät (vVO₂max, maksimaalisen hapenottookykytestin loppunopeus; V_{30m}, 30 m maksiminopeus; Blamax, veren maksimilaktaattikonsentraatio ja V_{mart}, MART-testin huippunopeus) edistävät maksimaalista juoksusuoritusta erityisesti taasisella, ja ettei maksimaalinen hapenottoikyky ole ainoa VO₂max-testin huippunopeuden määrittäjä (Tharp ym. 1997; Paavolainen ym. 2000). Koska VO₂max-testin loppuosalla edetään jo samoilla rasiustasoilla kuin esimerkiksi 10 km:n juoksukilpailuissa (anaerobisen kynnyksen yläpuolella), voidaan sitä verrata kilpailusuoritukseen ja saada siten viitteitä siitä, että anaerobisilla ominaisuuksilla olisi vaikutusta kestävyysuorituksen loppuosalle. Lisäksi MART-testin (maximal anaerobic running test) on todettu olevan yhteydessä kestävyysuoritukseen (Paavolainen ym. 1999; Baumann ym. 2012). Baumannin ym. (2012) mukaan MART-testin maksiminopeus selitti merkitsevän osan (31%) nähdystä vaihtelusta naisjuoksijoiden 5 km:n keskinopeudessa. Heidän mukaansa kestävyysjuoksijan kapasiteettia syntetisoida ATP:tä anaerobisesti voidaan käyttää hyväksi alussa, ohituksissa sekä loppukirissä (Baumann ym. 2012). Myös Noordhofin ym. (2013) mukaan anaerobinen kapasiteetti on tärkeä lyhytkestoisten lajien lisäksi keskipitkän ja pitkän matkan loppukireissä.

3.3 Maksimilaktaatti

Veren laktaattikonsentraatio on tärkeä ja yleisesti käytetty kestävyysuorituskyvyn mittari (Hildebrand ym. 2000), jonka avulla voidaan määrittää muun muassa aerobinen ja anaerobi-

nen kynnyksen ja harjoituksissa käytettävät tehoalueet (Nummela 2007). Veren laktaatin huippuarvoa on usein käytetty myös anaerobisen energiantuoton määrittäjänä, sillä se luo hyvän kuvan glykolyysin käytöstä (Gastin 2001; Green & Dawson 1993). Veren huippulaktaatin on todettu korreloivan kestävyysurheilijoilla merkitsevästi 400 m juoksun nopeuden kanssa. Kestävyysurheilijoilla se kertoo anaerobisesta glykolyysistä toisin kuin sprinttereillä, joilla kyseisen matkan suorituskyky riippuu myös esimerkiksi ATP:n määrästä sekä voimasta suhteessa poikkipinta-alaan. (Ohkuwa ym. 1984.).

Laktaattia syntyy glykolyysin seurauksena, kun maitohappo hajoaa laktaatti- ja vetyioneiksi (Robergs ym. 2004). Laktaatti ajatellaan usein tarpeettomaksi jätetuotteeksi (McArdle ym. 2015, 146–147), vaikka todellisuudessa pyruvaatin hajoaminen laktaatiksi mahdollistaa glykolyysin jatkumisen, sillä tämä reaktio vapauttaa glykolyysin toiminnalle välttämättömät NAD^+ -koentsyymiä (Robergs ym. 2004). Laktaatin tuotto onkin suorituksen jatkumisen ja ennenaikaisen väsymisen ehkäisyn kannalta erittäin tärkeää (Robergs ym. 2004).

Kestävyys- ja teholajien urheilijat eroavat toisistaan laktaatintuottokyvyn perusteella. Sprintterit pystyvät nostamaan veren maksimilaktaatin kestävyysurheilijoita korkeammalle (Ohkuwa ym. 1984; Green & Dawson 1993; Nummela ym. 2007, Vucetic ym. 2015). Vuceticin ym. (2015) tutkimuksessa eri matkojen juoksijat suorittivat väsytestin, jossa juoksumaton nopeutta nostettiin 1 km/h joka minuutti, ja testin kokonaiskestoksi tuli 12–15 minuuttia. Kestävyysurheilijoilla maksimilaktaatti oli testin jälkeen merkitsevästi muita ryhmiä matalammalla nousun arvoon 10,9 mmol/l, kun se esimerkiksi sprinttereillä oli 15,1 mmol/l (Vucetic ym. 2015). Vuceticin ym. (2015) pohtivat erojen johtuvan eri lajien vaatimuksista ja siten erilaisesta harjoittelusta: sprinttereiden korkeatehoisissa harjoituksissa käytössä ovat pääasiassa nopeat lihassolut, kestävyysurheilijoiden matalatehoinen harjoittelu aktivoi hitaita soluja.

Vuceticin ym. (2015) mukaan veren huippulaktaatti on merkitsevästi yhteydessä nopeiden solujen pitoisuuteen (Komi 1977, Vuceticin ym. 2015 mukaan). Kestävyysurheilijoilla on enemmän hitaita I-tyyppin soluja, kun taas voima- ja teholajien urheilijoilla lihassolukoostumus on II-tyyppin suuntainen (Methenitis ym. 2016). Eri tutkimusten mukaan kestävyysurheili-

joiden solutyypistä noin 65,4–79 % on hitaita (Fink ym. 1977; Taunton ym. 1981). Huipputason pikajuoksijalla vastaavasti nopeiden solujen osuus voi olla 71 %. (Trappe ym. 2015). McArdlen ym. (2015, 163) mukaan laktaatintuottokyky on tehourheilijoilla suurempi kolmesta syystä. Heillä on korkeampi motivaatio kyseisiin suorituksiin, suuremmat lihasten sisäiset glykogeenivarastot, jolloin anaerobista glykolyysiä voidaan käyttää enemmän, sekä harjoittelun seurauksena enemmän glykolyyttisiä entsyymejä, kuten fosfofruktokinaasia. (McArdle ym. 2015, 163.)

Happivajeen avulla mitattu anaerobinen kapasiteetti sekä maksimilaktaatti tosin kertovat pitkälti samasta ominaisuudesta, mutta koska veren maksimilaktaatti on helppo mitata, siihen itsenäisesti liittyviä ominaisuuksia olisi tutkimuksen keinoin hyödyllistä saada selville. Mihin maksimaalinen laktaatintuottokyky voidaan yhdistää? Voidaanko sen avulla tyypitellä urheilijoita ja ennustaa suorituskyykyä? Tässä tutkimuksessa näitä kysymyksiä pohditaan loppukirin osalta.

4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO-OMINAISUUDET JA LOPPUKIRI

4.1 Maksimivoima ja nopeusvoima

Hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksista puhuttaessa voidaan erotella toisistaan maksimivoima, nopeusvoima sekä nopeus. Maksimivoimalla tarkoitetaan maksimaalista voimaa, joka pystytään tuottamaan tahdonalaisessa lihassupistuksessa ilman, että aika on rajoittava tekijä. Maksimivoimaa voidaan mitata 1RM:llä eli yhden toiston maksimitestillä. (Ahtainen & Häkkinen 2007.) Voiman kasvu voi tapahtua morfologisten sekä neurologisten muutosten kautta (Folland & Williams 2007). Tärkein morfologinen muutos on lihassolujen ja koko lihaksen pinta-alan kasvu (hypertrofia), mutta myös hyperplasia, lihassolutyypin muutokset, lihaksen arkkitehtuurin muuttuminen (esim. pennaatiokulma), myofilamenttien tiheys sekä sidekudoksen ja jänteiden rakenteen muutokset voivat selittää oman osuutensa. Hermostollisia muutoksia ovat ainakin motoristen yksiköiden parempi rekrytointi, syttymistiheys ja synkronisaatio sekä antagonistien pienempi koaktivaatio ja muutokset selkäydinrefleksien toiminnassa. (Folland & Williams 2007.)

Nopeusvoima kuvastaa kykyä lisätä voimantuottoa lepotasolta tai matalalta voimatasolta niin nopeasti kuin mahdollista. Voimantuoton kasvunopeus eli RFD (rate of force development) näyttää olevan MVC:tä (maximal voluntary contraction) paremmin yhteydessä lajinomaisiin suorituksiin ja olevan herkempi hermolihasjärjestelmän muutoksille. Erityisesti RFD:n alkuvaiheeseen (< 75 ms) vaikuttavat neuraaliset tekijät, kuten motoristen yksiköiden rekrytointi ja syttymistaajuus. Myös MVC on merkittävästi yhteydessä RFD:hen ja selittää suuren osan loppuvaiheesta. Siten MVC:hen vaikuttavat lihastason tekijät (esimerkiksi lihaksen koko ja arkkitehtuuri) vaikuttavat myös kokonais-RFD:hen. (Maffiuletti ym. 2016.)

RFD riippuu suuresti IIX-solutyypin poikkileikkauspinta-alojen prosenttiosuudesta (Methenitis ym. 2016). II-tyyppin solut pystyvät vapauttamaan enemmän Ca_2^+ :a aktiopotentialiaa kohti,

jolloin voimantuotto yhtä aktiopotentialia kohti lisääntyy, niissä on enemmän Na-kanavia ja nopeammat myosiini-, troponiini- ja tropomyosiinifilamenttien isoformit (Maffioletti ym. 2016) sekä korkeampi ATPaasin aktiivisuus ja nopeampi aktiopotentialin kulku sarkolemmalla (Methenitis ym. 2016). Näiden tekijöiden vaikutuksesta poikittaissiltojen muodostuminen on nopeampaa ja johtaa nopeampaan lihaksen supistumiseen (Maffioletti ym. 2016; Methenitis ym. 2016).

4.2 Maksimivoima ja nopeusvoima loppukirissä

Monissa tuoreissa tutkimuksissa on osoitettu voimaharjoittelulla olevan positiivisia vaikutuksia juoksusuoritukseen (Balsalobre-Fernández ym. 2016; Lum 2016). Muutokset voivat tapahtua lihastasolla tai hermoston toiminnassa. Voimaharjoittelun myötä lihaksia voidaan rekrytoida tehokkaammin (Rønnestad & Mujika 2014) ja agonistien ja antagonistien yhteistoiminta voi olla koordinoitumpaa, jolloin lihaksen jäykkyys kasvaa ja kontaktiaika lyhenee (Kyröläinen ym. 2001). Voimaharjoittelun myötä lihassolujen pinta-ala (Folland & Williams 2007) ja maksimivoima (Hoff ym. 2002) voivat kasvaa, jolloin vaaditaan vähemmän motorisia yksiköitä tuottamaan haluttu voima (Barnes & Kilding 2015). Myös lihassolutyyppi voi muuttua energiantuotollisesti vähemmän taloudellisesta IIB-tyypistä tehokkaampiin IIA- ja I - tyyppisiin (Aagaard ym. 2011; Rønnestad & Mujika 2014; Barnes & Kilding 2015). Voimakkaampi juoksija pystyy suorittamaan saman matkan samalla askelfrekvenssillä, mutta nopeammin (Munekani & Ellapen 2015) ja etenemään suhteessa matalammalla intensiteetillä, kun tuotettu huippuvoima ja voimantuottonopeus (RFD) ovat suurempia (Hoff ym. 2002). Voimaharjoittelun kautta tapahtuvat muutokset kestävyysuorituksessa näkyvät kuitenkin usein parantuneena taloudellisuutena (Lum 2016), mikä tekee paremman koko suorituksesta, ei ainoastaan loppukiristä.

Maksimaalisen hapenottokykytestin loppunopeuden ($v\text{VO}_2\text{max}$) on useissa tutkimuksissa havaittu ennustavan kestävyysuoritusta ja toimivan sen määrittäjänä (Rønnestad & Mujika 2014). Lima-Silva ym. (2010) havaitsivat yhteyden myös uupumukseen asti suoritettujen juoksutestien loppunopeuden sekä 10 km juoksun viimeisen kierroksen välillä. Maksimitestin lop-

punopeuteen eivät vaikuta ainoastaan VO₂max ja taloudellisuus, vaan myös anaerobiset ja hermolihasjärjestelmään liittyvät ominaisuudet (Jones & Carter 2000), kuten vVO₂max, V_{30m} (30 m:n maksiminopeus), Blamax (maksimilaktaattikonsentraatio) ja V_{mart} (MART:n huippunopeus) (Paavolainen ym. 2000). Tämän perusteella voisi päätellä, että hermolihasjärjestelmän voimantuottokyky olisi yhteydessä myös loppukirikykyyn.

Damasceno ym. (2015) tutkivat voimaharjoittelun vaikutusta 10 km juoksusuoritukseen. Tutkimuksessa huomattiin muun muassa 1RM:n sekä 10 km juoksutuloksen paranevan voimaharjoittelun myötä. Hapenotossa, taloudellisuudessa ja anaerobisessa suorituksessa sen sijaan ei havaittu merkitsevää parannusta. Juoksusuorituksen paraneminen johtui suuremmista nopeuksista viimeisillä kierroksilla (viimeiset 2800 m). (Damasceno ym. 2015.) Lisäksi V_{mart}:n, joka kuvaa kestävyysurheilijoilla voima- ja nopeusominaisuuksia (Nummela 2007), on todettu korreloivan merkitsevästi 5 km juoksun viimeisen kierroksen nopeuden kanssa (Nummela ym. 2006). V_{mart}:ta voidaan parantaa tehokkaimmin maksimivoimaharjoittelulla (Mikkola ym. 2011). Nämä tutkimukset viittaisivat siihen, että paremmat maksimivoimatasot johtaisivat parempaan loppukirikykyyn.

Noakesin (2011) mukaan hermostollisen käskytyksen rooli on suuri, kun tarkastellaan väsymystä esimerkiksi loppukirissä. Loppukiri onkin yhdistetty lisääntyneeseen EMG-aktiivisuuteen aktiivisissa lihaksissa (Ansley ym. 2004; Tucker ym. 2007; Noakes 2011). Siksi voimaharjoittelun aikaansaaman hermoston paremman käytön voisi ajatella vaikuttavan kirikykyyn. Voimaharjoittelulla voidaan parantaa motoristen yksiköiden parempaan rekrytointiin liittyviä tekijöitä (Folland & Williams 2007). Askeleen kontaktiaikojen on todettu kasvavan väsymyksen jälkeen (Paavolainen ym. 1999; Nummela ym. 2006), mikä johtaa nopeuden vähenemiseen. Toisaalta tiedetään, että kontaktiaikaan vaikuttaa jalan ja lihaksen jäykkyys (Paavolainen ym. 1999) ja että jäykkyyttä voidaan parantaa voimaharjoittelulla (Spurrs ym. 2003). Siten mikäli esimerkiksi jäykkyyttä saadaan voimaharjoittelun avulla kasvatettua, kontaktiaika vähenee, jolloin voiman vaikutuksella saadaan parannusta nopeuteen ja kiriin.

4.3 Nopeus

On selvää, että pystyäkseen juoksemaan nopean loppukirin urheilijan on pystyttävä juoksemaan samalla nopeudella myös absoluuttisesti. Loppukiriin tuo erityisen haasteensa se, että kiriin lähdetään väsyneessä tilassa. On kuitenkin näyttöä siitä, että väsytyksellä ei kestävyysurheilijoilla vähennä kykyä suorittaa voima- ja nopeusvoimasuorituksia (García-Pinillos ym. 2015). Siten olemassa olevaa voima- ja nopeusreserviä voitaisiin käyttää kirissä hyödyksi. Koska hyvät voimatasot ovat edellytys nopealle juoksemiselle sinällään (Mero ym. 1992), vaikuttavat ne luultavasti positiivisesti myös loppukirin suorittamiskykyyn.

Paavolaisen ym. (1999) mukaan maksiminopeus kuitenkin vähenee 10 km juoksun jälkeen. 20 m juoksunopeus laskee 22,6 % parempien juoksijoiden ryhmässä juoksun kontaktiaikojen kasvaessa 23,1 %. Kolmen havainnoidun alaraajan lihaksen EMG-arvot laskivat sprintissä sekä esiaktiivisuuden että työntövaiheen aikana olleen 28,5–57,2 % matalampia. (Paavolainen ym. 1999.) Samansuuntaista tutkimusta on myös 5 km juoksusta (Nummela ym. 2006). 5 km:n juoksunopeus ei korreloinut 20 m nopeuden kanssa hyvin harjoitelleilla juoksijoilla. Nopeuden lasku johtui askelen lyhenemisestä askeltiheyden pysyessä ennallaan ja kontaktiaikojen kasvaessa ja EMG:n vähetessä. Sen sijaan 5 km nopeuden ja Vmaxin kanssa korrelaatio löytyi. Viimeinen kierros oli nopein; nopeuden noustessa nousi myös EMG. (Nummela ym. 2006.) Voimantuottokykyä ja nopeaa juoksuvoimaa ei voida siis suoraan yhdistää; nopeuteen sisältyy myös tekniikka- ja taitopuoli.

Yllä esitettyjen tutkimusten perusteella voisi päätellä, että nopeusominaisuutta tärkeämpi loppukirissä on nopeuskestävyys. Mikäli nopea juoksuvoima heikkenee väsyneessä tilassa, nopeus ei sinällään auta loppukirissä, ellei sitä pystytä pitämään yllä. Avainasia on siis se, miten paljon nopeuden vähenemistä pystytään vastustamaan. Mikäli olemassa oleva nopeusreservi voidaan säilyttää ja käyttää hyödyksi myös väsyneessä tilassa, siitä on hyötyä loppukiriä ajatellen.

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tutkimuskysymys 1. Onko anaerobinen kapasiteetti yhteydessä loppukirikykyyn?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: On tutkimusta siitä, että aerobisen harjoittelun korvaaminen anaerobisella harjoittelulla säilyttää kestävyys suorituskyvyn samanlaisena ja jopa parantaa sitä (Iaia ym. 2008; Bangsbo ym. 2009; Iaia & Bangsbo 2010; Vorup ym. 2016). Juoksumattotestin huippunopeus on havaittu parhaimmaksi yksittäiseksi ennustajaksi 10 km juoksun loppuosalle (400 m) (Bertuzzi ym. 2014). On myös viitteitä siitä, että kestävyys suorituksen lopussa anaerobisen energiantuoton osuus kasvaa (Hettinga ym. 2006; Damasceno ym. 2015), ja että lihaksen ns. tehoteijät eli hermolihasjärjestelmään ja anaerobisiin ominaisuuksiin liittyvät ominaisuudet (vVO₂max, V_{30m}, Blamax ja V_{mart}) ovat yhteydessä maksimaaliseen juoksumattotestukseen, eikä maksimaalinen hapenottokyky ole ainoa VO₂max-testin huippunopeuden määrittäjä (Paavolainen ym. 1999; Paavolainen ym. 2000; Baumann ym. 2012).

Tutkimuskysymys 2. Onko maksimaalisella laktaatintuottokyvyllä yhteyttä loppukirikykyyn?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Veren laktaatin huippuarvoa käytetään anaerobisen energiantuoton määrittäjänä ja laktaattiarvo luo hyvän kuvan glykolyysin käytöstä (Gastin 2001; Green & Dawson 1993). Jos anaerobinen energiantuotto on yhteydessä hyvään loppukiriin (yllä), myös siitä kertova laktaatti on.

Tutkimuskysymys 3. Onko hermolihasjärjestelmän voimantuotto-ominaisuuksilla yhteyttä loppukirikykyyn?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: $vVO_2\max$:iin (jonka on useissa tutkimuksissa havaittu ennustavan kestävyys-suoritusta ja toimivan sen määrittäjänä (Rønnestad & Mujika 2014)) eivät vaikuta ainoastaan $VO_2\max$ ja taloudellisuus vaan myös anaerobiset ja hermolihasjärjestelmään liittyvät ominaisuudet (Jones & Carter 2000; Paavolainen ym. 2000), joita voidaan parantaa voimaharjoittelulla. Väsytyksen ei vähennä kestävyysurheilijan kykyä suorittaa voima- ja nopeusvoimasuorituksia (García-Pinillos ym. 2015). Voimaharjoittelun on todettu kestävyysjuoksijoilla parantavan mm. 1RM:a sekä 10 km juoksusuoritusta. 10 km suorituksen parannus johtui suuremmista nopeuksista viimeisillä kierroksilla (2800 m) ilman merkitsevää parannusta hapenotossa, taloudellisuudessa ja anaerobisessa suorituksessa. (Damasceno ym. 2015.) Vmaxin (joka kuvaa kestävyysurheiluijoilla voima- ja nopeusominaisuuksia (Nummela 2007)) on todettu korreloivan merkitsevästi 5 km:n viimeisen kierroksen nopeuden kanssa (Nummela ym. 2006). Vmaxia voidaan parantaa tehokkaimmin maksimivoimaharjoittelulla (Mikkola ym. 2011).

Tutkimuskysymys 4. Onko maksimaalisella nopeudella yhteyttä loppukirikykyyn?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Pystyäkseen juoksemaan hyvän kirin pitää olla nopea, ja ollakseen nopea kirissä pitää olla riittävän nopea myös absoluuttisesti. Maksimaalinen nopeus kuitenkin heikkenee kestävyysuorituksen jälkeen (Paavolainen ym. 1999; Nummela ym. 2006), joten nopeudesta sinänsä ei ole hyötyä, jos sitä ei pystytä pitämään yllä.

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tässä tutkimuksessa koehenkilöinä toimi alun alkaen 12 25–39-vuotiasta perustervettä kestävyysurheilijaa (taulukko 1). Testattavista kymmeneltä saatiin lopulliset tulokset, minkä vuoksi sitä pidetään tästä eteenpäin tutkittavien todellisena määränä. Rekrytointi suoritettiin jakamalla tutkimuskutsua ilmoitustaulujen, sähköpostin sekä sosiaalisen median avulla. Kriteerinä oli, että henkilöt harrastivat aktiivisesti kestävyysurheilua ja käyttivät yhtenä harjoitusmuotonaan juoksua. Tarkkaa kuntotasovaatimusta tutkittaville ei asetettu. Testattavien terveydentila ja siten tutkimuksen suorittamisen turvallisuus kartoitettiin esitieto- ja terveystarkastuksen avulla. Joukossa oli 3–4 astmaa sairastavaa henkilöä ja yksi henkilö, jolla sydämen rytmihäiriö levossa, mutta joka oli saanut kardiologilta luvan harjoitteluun ja testeihin. Testattaville kerrottiin tutkimuksen kulku, tutkimuksen ja tutkimustulosten käyttötarkoitus sekä tutkittavien oikeudet ja vakuutuksia koskevat asiat. Jokainen tutkittava allekirjoitti suostumuslomakkeen. Tutkimukseen oli Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto. Tutkimus suoritettiin keväällä 2017.

TAULUKKO 1. Tutkittavien (n=10) keskimääräinen ikä, pituus, massa, painoindeksi (BMI), rasvaprosentti, rasvaton kehon massa sekä maksimaalinen hapenotto-kyky (VO₂max) keskiha-
jontoineen.

	Miehet	Naiset	Kaikki
Määrä	6	4	10
Ikä (v)	31 ± 5	27 ± 2	30 ± 5
Pituus (cm)	183 ± 4	167 ± 8	176 ± 10
Kehon massa (kg)	75.2 ± 6.9	56.3 ± 3.7	67.7 ± 11.3
BMI (kg/m ²)	22.6 ± 1.4	20.4 ± 2.7	21.7 ± 2.2
Rasvaprosentti (%)	12.4 ± 4.5	15.4 ± 6.3	13.6 ± 5.2
Rasvaton massa (kg)	65.9 ± 6.3	47.6 ± 3.5	58.6 ± 10.7
VO ₂ max (ml/kg/min)	54.6 ± 5.7	50.1 ± 1.3	52.8 ± 4.9

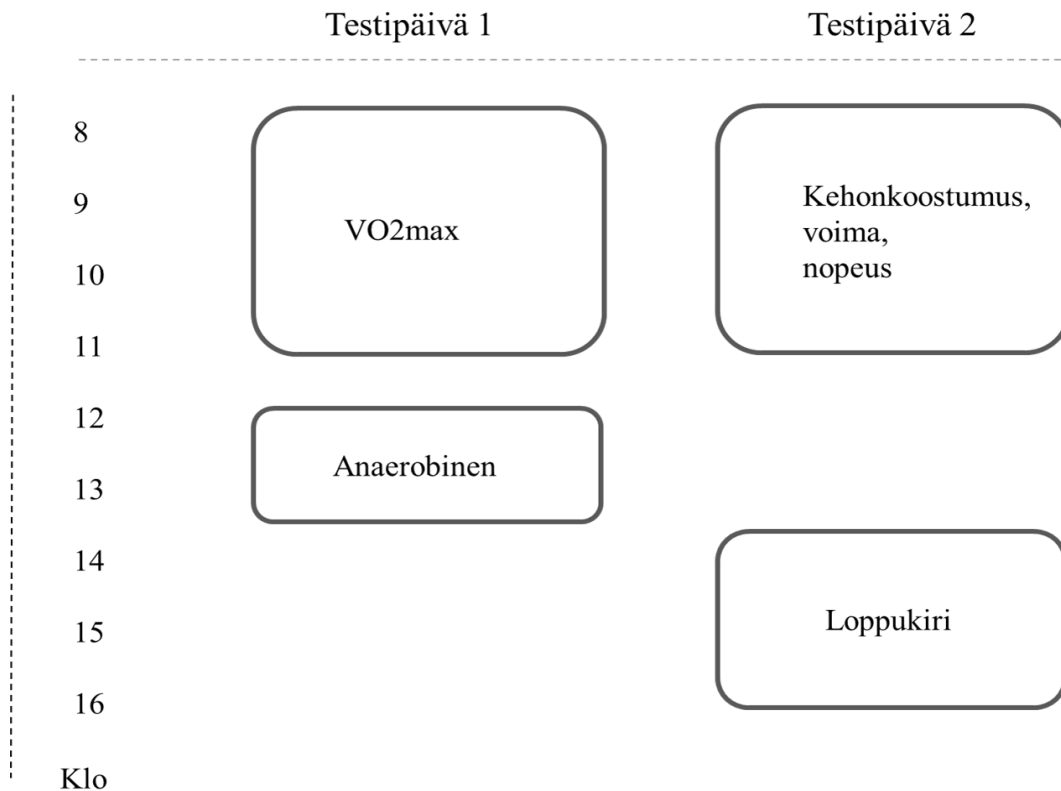
6.2 Koeasetelma

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää eri fyysisten suorituskykytekijöiden yhteyttä loppukiri-
juoksukykyyn. Nämä mittaukset toimivat myös harjoitusinterventio sisältyvän pro gradu -
tutkielman alkumittauksina.

Ensimmäinen testipäivä alkoi kullakin tutkittavalla suoralla maksimaalisella hapenotto-
kykytestillä, joka suoritettiin aamulla klo 8–11 (kuva 1). Toinen ensimmäisenä testipäivänä suori-
tettava testi oli anaerobisen kapasiteetin testi, joka suoritettiin klo 12–13.30 siten, että palau-
tumiseen oli aikaa 1,75–2,5 tuntia. Toinen testipäivä alkoi kehonkoostumusmittauksella klo
8–8.30 ja jatkui voimatesteillä seuraavassa järjestyksessä: 20 metrin juoksu, vauhditon pi-

tuushyppy, 1RM ja tehoprässi. Toinen testipäivä päättyi loppukiritestiin, joka suoritettiin klo 14 ja 16.30 välillä. Ensimmäinen ja toinen testipäivä olivat kullakin tutkittavalla peräkkäiset päivät, ja kaikki testattavat suorittivat samat testit edellä mainittujen aikarajojen sisällä samaan aikaan päivästä. Testien välisinä aikoina ei sallittu normaalia liikkumista suurempaa fyysistä aktiivisuutta.

Kaikki tutkittavat osallistuivat alkumittausten jälkeen myös kahdeksan viikon voimaharjoitus-interventio-osioon ja sen jälkeisiin loppumittauksiin. Tästä interventiosta valmistuu pro gradu -tutkielma, jota tässä kandidaatin tutkielmassa ei käsitellä tarkemmin.



KUVA 1. Mittausten toteutuminen ensimmäisen ja toisen testipäivän aikana kullakin tutkittavalla. Kyseinen koearrangement mahdollisesti ensimmäisen ja toisen päivän mittausten toteuttamisen useammalle koehenkilölle saman päivän aikana.

6.3 Aineiston keruu ja analysointi

Kaikissa tässä tutkimuksessa suoritetuissa testeissä, joissa käytettiin juoksumattoa, mattona toimi Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorion juoksumatto OJK-1 (Telineyhtymä Kotka, Kotka, Suomi). Tutkittavat käyttivät jokaisessa testissä turvavaljaita. Sykemittarina käytettiin Polarin RS800CX-sykemittaria (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Hengityskaasuanalyysaattorina toimi Master Screen CPX -laitteisto (CareFusion, San Diego, USA), kullakin testattavalla käytettiin sopivinta happimaskia, ja tietoja käsiteltiin Lab Manager V5.32.0-tietokoneohjelmalla (Laboratory Systems Group Pty. Ltd, Melbourne, Australia). Hengityskaasut kerättiin breath by breath -toiminnolla. Hengityskaasuanalyysaattori kalibroitiin sekä tilavuus- että kaasukalibroinnilla ennen jokaista testiä. Laktaatit mitattiin sormenpääverinäytteestä, joka kerättiin desinfioidusta vasemman käden keskisormesta lansetin ja kapillaarin avulla. Näytteet analysoitiin Biosen C_line Sport 2 -laktaattianalyysaattorilla (EKF Diagnostic laktaatti/glukoosi, Cardiff, Iso-Britannia).

6.3.1 Esitiedot ja kehonkoostumus

Esitiedot kerättiin tutkittavilta lomakkeen avulla. Näillä tiedoilla varmistettiin tutkimuksen suorittamisen turvallisuus sekä saatiin tutkittavan nimi, ikä ja pituus. Tietoja tarkennettiin suullisesti kyselemällä.

Kehonkoostumus mitattiin InBody720-laitteella ja tulokset kerättiin Lookin'Body3.0-ohjelman avulla (InBody Co, Ltd, Seoul, Korea). Tutkittava saapui testiin syömättä ja juomatta. Tutkittava riisuutui alusvaatteisilleen, poisti kehosta korut ja muut metalliesineet ja pyyhki jalkapohjansa ja kätensä desinfiointiaineella. Testin aikana tutkittavaa ohjeistettiin seisomaan kahvoista kiinni pitäen ja käsivarret irti vartalosta liikkumatta paikallaan, kunnes mittaus oli valmis. Testin jälkeen eli ennen voima- ja nopeustestejä tutkittava söi aamupalan. Testistä saatavaa tutkittavan massaa käytettiin tehoprässin kuorman määrittämisessä.

6.3.2 Anaerobinen kapasiteetti

Testistöön kuului suora maksimaalinen hapenottokyvyn testi tämän tutkielman kannalta ainoastaan sen vuoksi, että sen avulla saatiin määritettyä anaerobisen kapasiteetin testiin sekä loppukiritestiin oikeat juoksunopeudet sekä laskennallinen hapentarve happivajeen määrittämistä varten. Kynnysmäärittämissä käytettiin KLAB-menetelmää (Mikkola 2017).

Suora maksimaalinen hapenottokykytesti tehtiin juoksumatolla juosten nopeusmallilla. Viiden minuutin alkuverryttely suoritettiin lepolaktaatin oton jälkeen miehillä nopeudella 9 km/h ja naisilla kilometri tunnissa hitaammin. Varsinainen testi koostui kolmen minuutin kuormista kuitenkin siten, että välissä otettava laktaatti lyhensi työaikaa joka kuormalla ensimmäistä kuormaa lukuun ottamatta noin puolella minuutilla. Nopeutta nostettiin 1 km/h kullakin kuormalla. Syke tallennettiin kunkin kuorman viimeisen minuutin 15.–45. sekunnin keskiarvona (esim. ensimmäinen kuorma: syke ajalta 2:15–2:45.). Hengityskaasuja kerättiin ja tallennettiin testin aikana maskin sekä hengityskaasuanalysoitsijan avulla. Testi juostiin 0,6 asteen kulmalla. Testi jatkui niin kauan, kunnes tutkittava ei enää pysynyt maton mukana tai tunti ja ilmoitti haluavansa lopettaa. 2 ja 3 minuutin jälkeen testin päättymisestä otettiin viimeiset laktaatit. Loppuverryttely oli samanlainen kuin alkuverryttely. Hapenottokykytestin yhteydessä suoritettiin myös esikevennyshyppyjä pro gradu -tutkielmaa varten sekä tutkittavan massan mittausta.

Hapenottokykytestistä määritettiin testin loppunopeus (v_{VO2max}), jota käytettiin varsinaisen anaerobisen kapasiteetin testin nopeuden määrittämiseen. Loppunopeus oli viimeinen loppuun asti suoritettu kuorma, tai jos kuorma jäi kesken, loppunopeus laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$v_1 + (t_1 - 30 \text{ s}) * (180 \text{ s} - 30 \text{ s})^{-1}, \text{ jossa}$$

v_1 = viimeinen loppuun asti tehty kuorma (km/h)

t_1 = viimeisen kuorman työaika (s)

Varsinainen anaerobisen kapasiteetin testi alkoi alkuverryttelyllä. Alkuverryttelyn aluksi juostiin 5 minuuttia nopeudella 50 % vVO₂max:sta. Tämän jälkeen matto pysäytettiin ja tutkittavalle puettiin päälle maski. Alkuverryttely jatkui seuraavasti: 1 min 60 % vVO₂max:sta, 2 min 80 % vVO₂max:sta ja 2 min 60 % vVO₂max:sta. Välittömästi tämän jälkeen matto kiihdytettiin 2–3 sekunnissa vauhtiin 135 % vVO₂max:sta. Tutkittavan tuli juosta tässä vauhdissa niin pitkään kuin mahdollista. Testi päättyi, kun tutkittava ei pysynyt enää maton kyydissä tai kun hän nosti kätensä ilmaan merkiksi halusta lopettaa. Laktaatit otettiin 1, 3 ja 5 minuutin kuluttua testin päättymisestä passiivisessa palautuksessa. Maksimilaktaatin tuloksena käytettiin anaerobisen kapasiteetin testin jälkeistä suurinta arvoa, ja se ilmoitettiin yksikössä mmol/l. Loppuverryttelynä juostiin 5 minuuttia vauhdilla 50 % vVO₂max:sta.

Hapenottokykytestissä hapenottoarvot kerättiin ylös ml/kg/min-muodossa 20 sekunnin keskiarvoina. Anaerobisessa testissä arvot kerättiin samassa muodossa viiden sekunnin keskiarvoina. Happivajeen laskemisessa submaksimaalisina kuormina käytettiin VO₂max-testin jokaisen kuorman viimeisen minuutin keskiarvoa. Huomioon otettiin ne kuormat, joilla hapenkulutus nousi. Submaksimaalisten kuormien avulla muodostettiin regressiosuora, jonka yhtälöön sijoitettiin anaerobisen testin nopeutta vastaava teoreettinen hapenkulutus. Teoreettinen hapenkulutus laskettiin Londereen (1989) kaavalla (Keskisen ym. 2004 mukaan, 267):

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/kg/min)} = 0,205 * v \text{ (m/min)} + 0.109 (v/60)^2 + E - 6,1, \text{ jossa}$$

E = kuntoluokitus 4, kansallisen tason juoksija

Tästä tulokseksi saatiin henkilön arvioitu hapenkulutus anaerobisen testin nopeudella. Tämän ja anaerobisessa testissä mitatun hapenkulutuksen erotuksesta saatiin happivaje (ml/kg/min). Analysoinnissa käytettiin apuna Microsoft Word 2016- ja Microsoft Excel 2016 -ohjelmistoja.

Happivajetta MAOD-menetelmällä (maximal accumulated oxygen deficit) määritettynä on käytetty anaerobisen kapasiteetin kuvaajana hyvin laajasti, mutta myös hyvin vaihtelevilla asetelmilla, eikä vakiintunutta menetelmää ole (Noordhof ym. 2010). Metodien validiteetista ja

sen taustalla olevista oletuksista on käyty paljon keskustelua (Bangsbo 1996; Bangsbo 1998; Graham 1996; Medbø 1996). Luotettavuus- ja toistettavuusongelmistaan huolimatta MAOD-metodi on toistaiseksi paras ja eniten käytetty anaerobisen kapasiteetin määrittämisessä (Noordhof ym. 2010).

6.3.3 Nopeus

Ennen voima- ja nopeustestejä tutkittava suoritti 15 minuutin lämmittelyn, joka koostui 10 minuutin vapaasta hölkästä sekä 5 minuutin verryttelyosiesta. Verryttely sai sisältää vapaasti esimerkiksi venyttelyä tai jalanheittoja. Lämmittelylle ei annettu tätä tarkempia ohjeita.

Nopeutta testattiin 20 metrin lentävällä lähdöllä tapahtuvalla juoksulla. Testi suoritettiin Jyväskylässä Hipposhallissa. Ennen varsinaisia testimittauksia tutkittava juoksi kolme 30 metrin kiihdytysjuoksua kävelypalautuksilla. Nopeusjuoksusta mitattiin aika ensimmäiseltä kymmeneltä metriltä sekä 30 metriltä valokennoilla (Newtest Oy, Suomi). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan jälkimmäistä 20 metrin juoksuun kulunutta aikaa; pro gradu -tutkimusta varten mukaan otettiin myös kiihdytykseen kulunut aika. Yrityksiä oli kolme kappaletta. Lähtö tapahtui 70 cm ennen ensimmäistä kennoa vapaalla lähdöllä. Tutkittavaa ohjeistettiin juoksemaan koko matka maksimaalisesti (hidastamatta maalin kohdalla). Palautus mittauskertojen välissä oli kolme minuuttia. Tulokset saatiin sadasosien tarkkuudella.

6.3.4 Voima

Nopeusvoimamittaukset sisälsivät vauhdittoman pituushypyn sekä tehosuorituksen jalkaprässissä. Vauhditonta pituushyppyä käytetään mittaamaan jalkojen horisontaalisuuntaista tehoa ja räjähtävää voimaa (Coburn 2010, Kyröläinen 2004). Esikevennyshyppy ja kyykkyhyppy on todettu valideiksi ja reliaabeleiksi menetelmiksi testaamaan alaraajojen räjähtävää voimaa (Markovic ym. 2004). Vauhdittoman pituushypyn ja vertikaalisuuntaisen kevennyshypyn on todettu korreloivan keskenään (Vuksanovikj ym. 2016), joten myös vauhditonta pituushyppyä voidaan pitää tarkoituksenmukaisena testinä kyseisten ominaisuuksien mittaamiseen. Vauhdi-

ton pituushyppy on todettu myös reliabiliteetiltaan päteväksi (Jakšić & Cvetković 2009). Lisäkuormalla suoritettujen hyppyjen mittaavat alaraajojen konsentrista räjähtävää voimantuottoa ulkopuolista vastusta vastaan (Kyröläinen 2004) ja ovat hyviä menetelmiä mittaamaan alaraajojen tehontuottoa (Feeney ym. 2016). Tässä tutkimuksessa vauhditonta pituushyppyä käytettiin mittaamaan horisontaalisuuntaista maksimaalista nopeusvoimaa ja tehoprässiä vertikaalisuuntaista maksimaalista nopeusvoimaa.

Vauhditon pituushyppy suoritettiin nopeustestin jälkeen viiden minuutin palautuksen jälkeen. Testattava sai kokeilla suoritustekniikkaa kaksi kertaa ennen varsinaisia mittauksia. Hyppy suoritettiin Jyväskylän Hipposhallissa tartan-alustalla. Suoritus alkoi seisoma-asennosta jalat noin lantion leveydessä asennossa. Testattava kevensi alas ja pyrki suorittamaan sieltä käsiä apuna käyttäen maksimaalisen hypyn horisontaalisuuntaan. Suorituskertoja oli kolme ja palautus oli kaksi minuuttia. Lopputuloksena käytettiin parasta suoritusta.

Vauhdittoman pituuden jälkeen suoritettiin 1RM:n maksimivoimatesti jalkaprässissä. Testi tehtiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriolla David F 210 -prässissä (David Health Solutions Ltd, Helsinki, Suomi). Suorituksessa tutkittavan tuli pyrkiä pitämään kantapäät pedaalissa, jalat lantion leveydessä asennossa, takapuoli kiinni penkissä ja kädet kahvoissa. Polvikulma mitattiin goniometrillä välille 60–70 astetta käyttäen apuna lateraalista malleolusta sekä reisiluun trochanter majoria. Ensin tutkittava suoritti kaksi kahden toiston sarjaa kevyellä vastuksella, jonka suuruutta ei oltu tarkkaan määritelty. Sen jälkeen alettiin lähestyä yhden toiston maksimia nostamalla kuormaa testattajan arvioiman määrän kerrallaan. Kuorman nosto oli vähintään 10 kg prässistä johtuen. Maksimi pyrittiin saavuttamaan 3–5 yrityksellä. Mikäli tutkittava ei saanut kuormaa nousemaan, tehtiin uusi yritys. Jos kuorma ei noussut tälläkään kertaa, painoa laskettiin 10 kg alemmas. Suorituskertojen välinen palautus oli kaksi minuuttia, jonka aikana tutkittava sai nousta ylös prässistä. 1RM:n maksimitulos oli suurin kuorma (10 kg:n tarkkuudella), jonka tutkittava sai nostettua oikealla tekniikalla. Ahtiaisen ja Häkkisen (2004) mukaan yhden toiston maksimivoimatestiä voidaan pitää todellisena dynaamisen maksimivoiman testinä.

Toinen nopeusvoimasuoritus, tehoprässi, suoritettiin viiden minuutin palautuksen jälkeen 1RM-testistä. Prässiin asetettiin vastukseksi 1,5 kertaa tutkittavan omaa kehon massaa vastaava kilomäärä. Kehon massa saatiin kehonkoostumusmittauksesta. Testissä käytettiin David F 210 -jalkaprässiä (David Health Solutions Oy, Helsinki, Suomi), ja laitteistoon kuului lisäksi Jyväskylän yliopistolla valmistetut ForAmps David 2012 -voima- ja potentiometrivaivastin sekä PCS2 -matka/nopeusmittari, joka antoi keskimääräiseksi virhearvioksi mittauksissa 0,37 cm ($\pm 0,37$). Penkin asento pidettiin kaikilla tutkittavilla samana, minkä johdosta polvikulma vaihteli tutkittavien välillä. Suoritusasento oli tässä testissä sama kuin edellisessä. Ennen varsinaista suoritusta testattava sai kokeilla suoritusta kaksi kertaa. Suoritus alkoi, kun testaja antoi tutkittavalle luvan suoristaa jalat. Tämä asento määritettiin nollassoksi. Tämän jälkeen tutkittava koukisti jalat ja suoritti ala-asennosta maksimaalisen jalkojen suorituksen ("hyppyn") testajan käskystä. Suorituskertoja oli kolme ja palautus suoritusten välissä oli minuutti. Suorituksesta saatiin tulokseksi pedaalin liikkuma matka sekä suoritukseen kulunut aika; ainoastaan se osio suorituksesta huomioitiin, kun jalat olivat kiinni pedaalissa. Tuloksena käytettiin parasta suoritusta. Loppuverryttelynä toimi viiden minuutin pyöräily.

Tehoprässsissä tuotetut tulokset kerättiin talteen ja analysoitiin Signal 4.1 -ohjelmiston avulla. Teho laskettiin alla olevalla kaavalla ja ilmoitettiin watteina (W).

$$P (W) = m * g * s / t, \text{ jossa}$$

m (kg) = laitteen kuorma (1,5 * kehon massa)

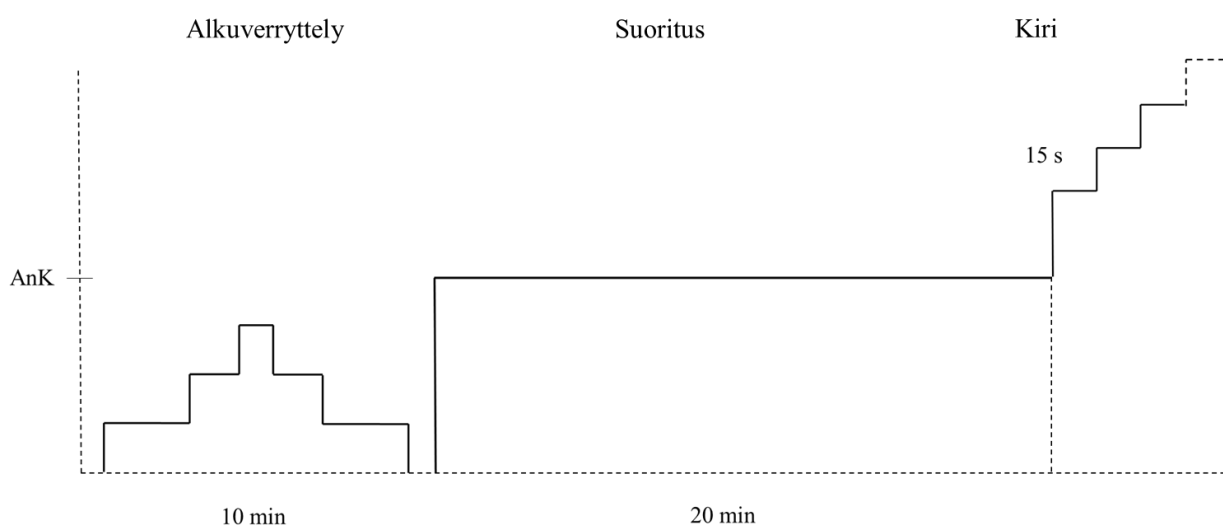
g (m/s^2) = putoamiskiihtyvyyys 9,81 m/s^2

s (m) = pedaalin liikkuma matka

t (s) = suoritukseen kulunut aika

6.3.5 Loppukiri

Testipatteriston viimeinen testi oli loppukiritesti (kuva 2), jolla pyrittiin saamaan selville tämän tutkimuksen päämielenkiinnonkohde, loppukirikyky. Loppukiritestissä käytettiin samoja kynnysmääriä kuin anaerobisen kapasiteetin testissä. Ennen testiä tutkittava suoritti matolla juosten alkuverryttelyn, joka muodostui seuraavista osioista: 3 min AnK – 3 km/h, 2 min AnK – 2 km/h, 1 min AnK – 1 km/h, 2 min AnK – 2 km/h ja 2 min AnK – 3 km/h. Tämän jälkeen matto pysäytettiin ja tutkittavalle laitettiin maski päähän. Itse testi koostui 20 minuutin juoksusta anaerobista kynnystä vastaavalla nopeudella ja tätä seuraavasta asteittain kiihtyvistä loppukiristä. Mikäli tutkittava ei pystynyt suorittamaan testiä anaerobista kynnystä vastaavalla nopeudella, nopeutta laskettiin. Henkilöitä, jotka eivät päässeet testiä loppuun alkuperäisellä nopeudella, ei otettu tähän tutkimukseen mukaan.



KUVA 2. Loppukiritestin protokolla. Testi koostui kymmenen minuutin mittaisesta asteittaisesti nousevasta ja laskevasta alkuverryttelystä sekä 20 minuutin pituisestä yhtäjaksoisesta suorituksesta, jota seurasi välittömästi asteittain kiihtyvä loppukiri.

Loppukiri lähti välittömästi 20 minuutin anaerobisella kynnyksellä juoksun jälkeen siten, että ensimmäinen kuorma oli 130 % anaerobista kynnystä vastaavasta nopeudesta. Tämän jälkeen

nopeutta nostettiin 15 sekunnin välein alkuperäiseen nopeuteen nähden 10 %. Tutkittavaa ohjeistettiin juoksemaan testiä niin kauan kuin suinkin mahdollista. Testi päättyi, kun tutkittava ei enää pysynyt maton vauhdissa mukana tai kun hän ilmaisi halunsa lopettaa. Kaikki testin nopeudet määritettiin VO₂max -testin avulla. Laktaatit otettiin testissä 1, 3 ja 5 minuutin kullua testin päättymisestä. Loppukiri ilmoitettiin sekunteina (s). Loppuverryttely oli viisi minuuttia miehillä nopeudella 9 km/h ja naisilla nopeudella 8 km/h.

Tässä tutkimuksessa käytetty loppukiritesti oli tätä tutkimusta varten kehitetty. Vastaavanlaisia juoksumatolla tehtyjä simuloituja loppukiriprotokollia ei löydetyn kirjallisuuden perusteella ole aiemmin käytetty.

6.4 Tilastollinen analysointi

Aineiston tilastollinen analysointi suoritettiin IBM SPSS Statistics 24 -ohjelmalla. Aineisto todettiin normaalijakautuneeksi Shapiro-Wilkin normaalisuustestin avulla. Riippuvuuksien tarkastelussa käytettiin Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerrointa ja tarkastelu tehtiin koko ryhmälle erottamatta sukupuolia toisistaan. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p \leq 0,05$.

7 TULOKSET

Fyysisten ominaisuuksien testeistä saatiin taulukon 2 mukaiset tulokset, joita on käsitelty kullekin muuttujalle erikseen omassa luvussa. Loppukiriaika ei ollut merkitsevästi yhteydessä mihinkään mitattuun fyysiseen ominaisuuteen (taulukko 3). Korrelaatio oli kohtalainen muilla muuttujilla paitsi vauhdittomalla pituudella ja suhteellisella 1RM:lla. Suurin riippuvuus löydettiin happivajeen ja loppukirikyvyn väliltä.

TAULUKKO 2. Tutkittavien keskimääräiset tulokset keskihajontoineen kussakin mitatussa muuttujassa.

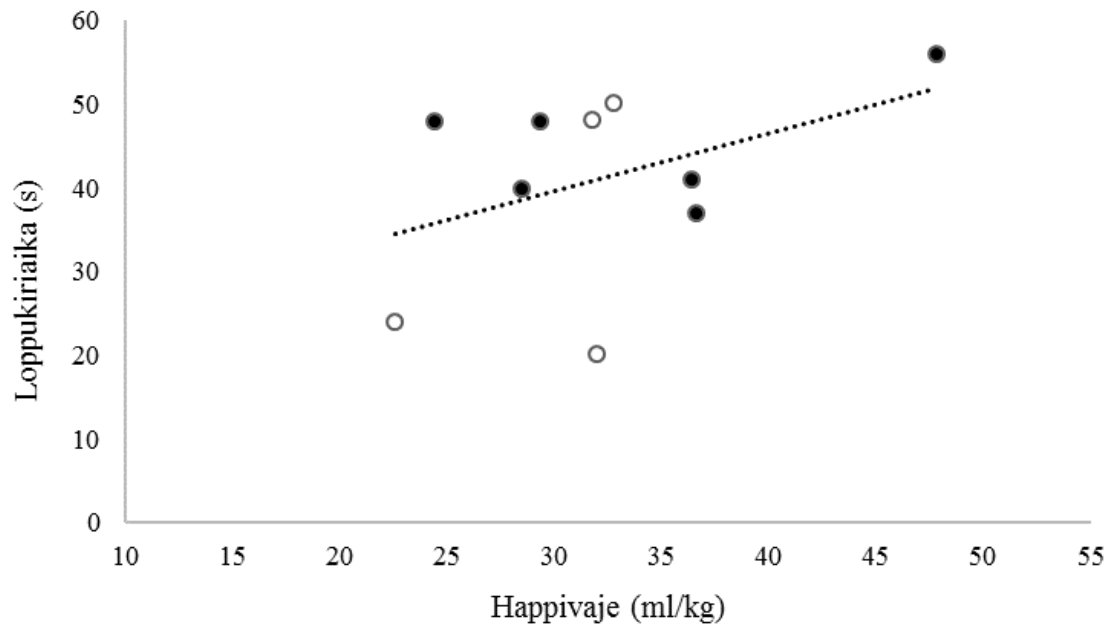
	Miehet (n=6)	Naiset (n=4)	Kaikki (n=10)
Happivaje (ml/kg)	33.8 ± 8.3	29.8 ± 4.8	32.2 ± 7.1
Maksimilaktaatti (mmol/l)	9.4 ± 1.7	8.3 ± 1.5	8.9 ± 1.7
1RM jalkaprässi (kg)	187 ± 8	143 ± 17	169 ± 26
1RM jalkaprässi / kehon massa	2.49 ± 0.20	2.53 ± 0.29	2.51 ± 0.23
Tehoprässi (W)	711 ± 75	474 ± 35	616 ± 136
Vauhditon pituus (m)	2.25 ± 0.17	1.79 ± 0.15	2.07 ± 0.28
20 m lentävä (s)	2.71 ± 0.09	3.01 ± 0.15	2.83 ± 0.19
Kiriaika (s)	45.0 ± 7.0	35.5 ± 15.7	41.2 ± 11.5

TAULUKKO 3. Tutkittavien (n=10) loppukiriajan korrelaatiot fyysisten ominaisuuksien kanssa. Minkään muuttujan suhteen ei löydetty tilastollista merkitsevyyttä riskitasolla $p \leq 0.05$.

	r	p
Happivaje	0.426	0.219
Maksimilaktaatti	0.355	0.314
1RM jalkaprässi	0.396	0.258
1RM jalkaprässi / kehon massa	0.006	0.988
Tehoprässi	0.317	0.371
Vauhditon pituus	0.242	0.500
20 m lentävä (aika)	-0.422	0.224

7.1 Anaerobinen kapasiteetti

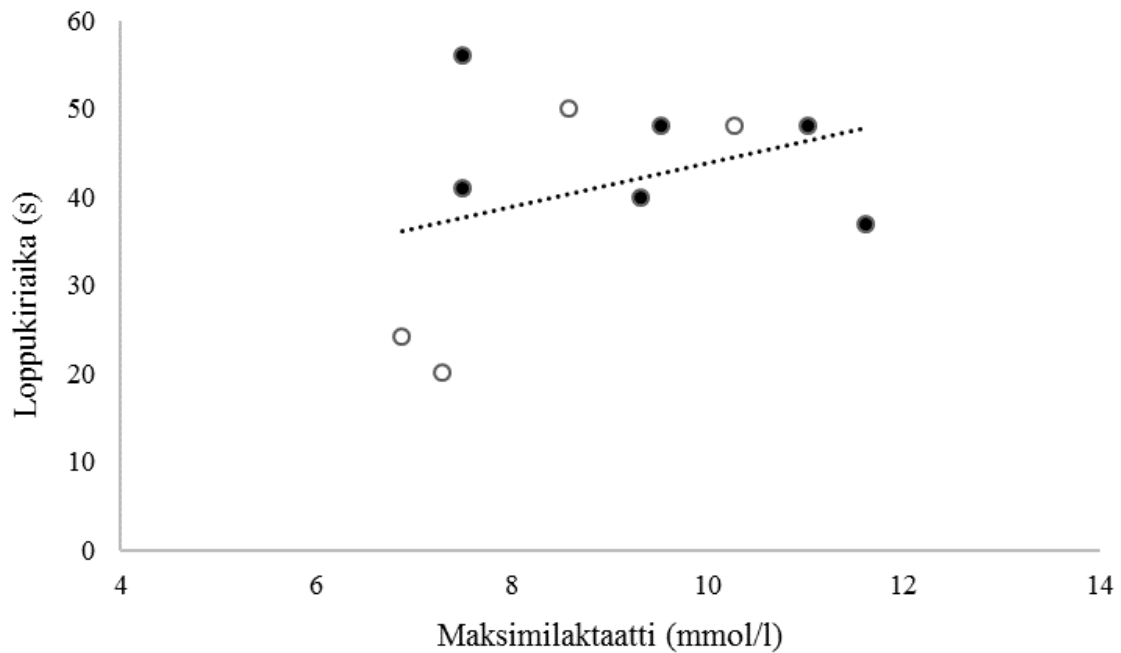
Keskimääräinen happivaje tutkittavilla oli 32,2 ml/kg ($\pm 7,1$). Anaerobisen kapasiteetin ja loppukiriajan välillä havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio ($r=0.426$, $p=0.219$, kuvio 1). Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.



KUVIO 1. Happivajeen korrelointi loppukiriajan kanssa. Riippuvuus oli kohtalaista ($r=0.426$), mutta tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ei löydetty ($p=0.219$). Mustat ympyrät kuvaavat miehiä ja valkoiset naisia.

7.2 Maksimilaktaatti

Tutkittavien keskimääräinen maksimilaktaatti oli 8,9 mmol/l ($\pm 1,7$). Maksimilaktaatin ja loppukiriajan välillä havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio ($r=0.355$, $p=0.314$, kuvio 2). Tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

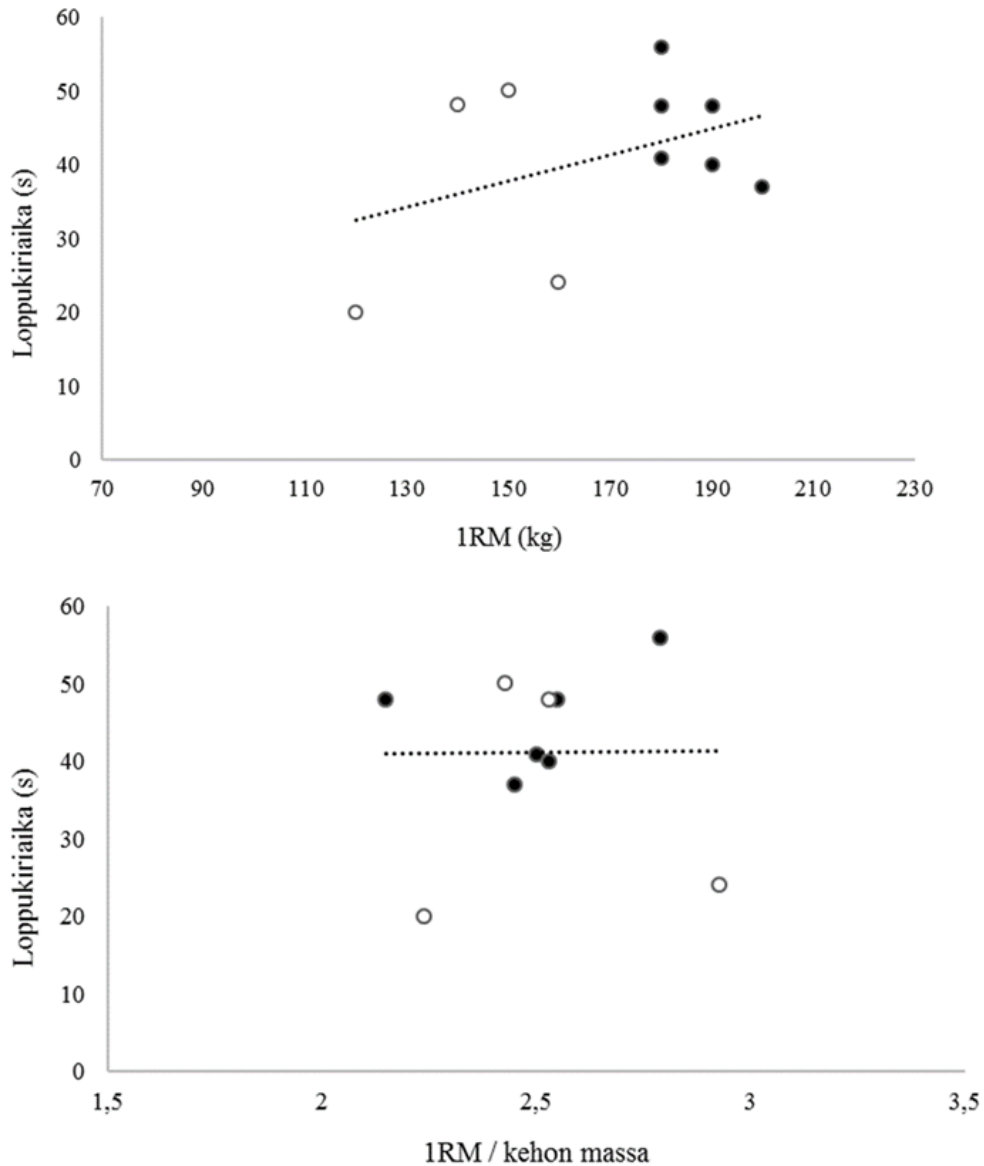


KUVIO 2. Maksimilaktaatin ja loppukiriajan välinen korrelaatio ($r=0.355$) oli kohtalaista, muttei tilastollisesti merkitsevää ($p=0.314$). Mustat ympyrät kuvaavat miehiä ja valkoiset naisia.

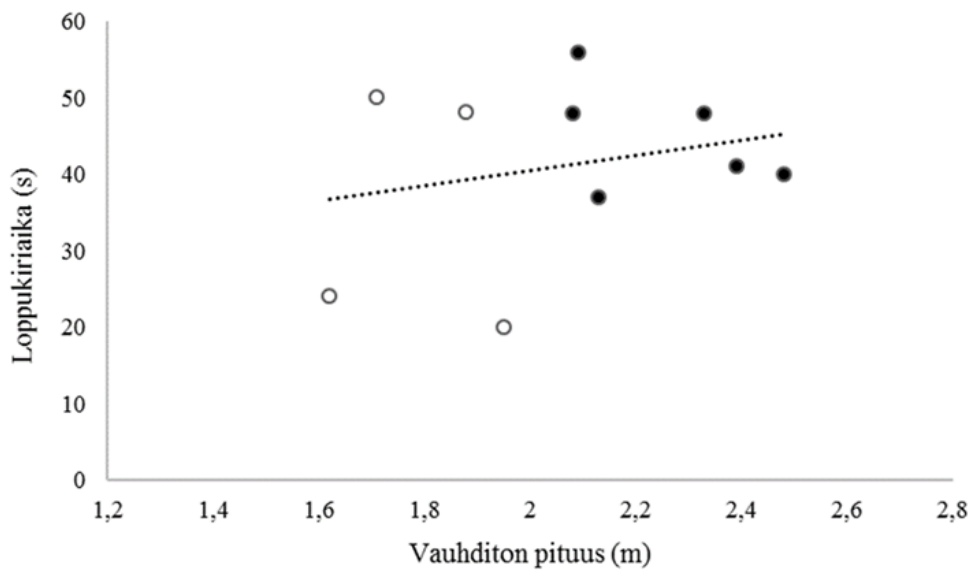
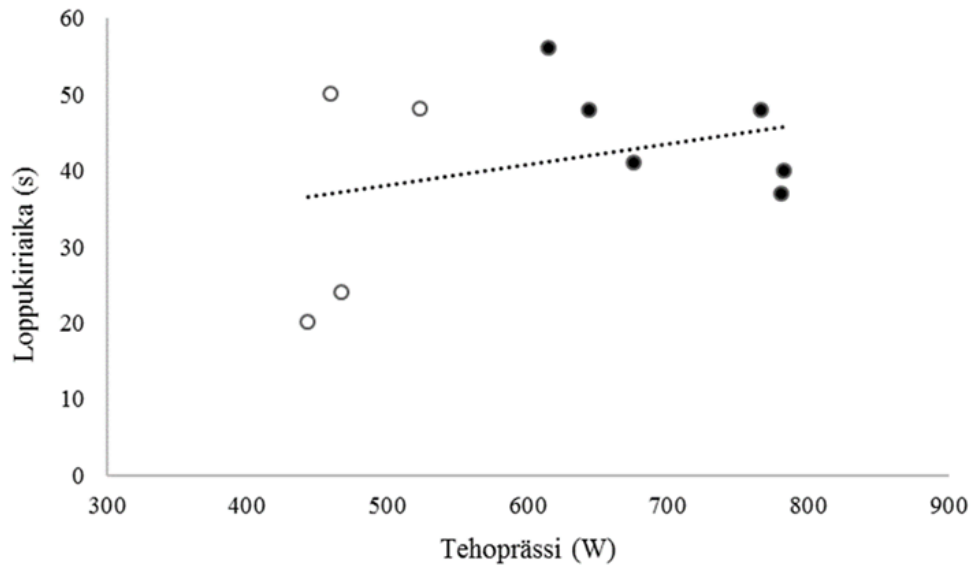
7.3 Maksimi- ja nopeusvoima

Keskimääräinen 1RM-tulos tutkittavilla oli 169 kg (± 26). Tehoprässissä keskimääräinen tulos oli 616 W (± 136). Vauhdittoman pituuden keskimääräinen tulos oli 2,07 m ($\pm 0,28$) m.

1RM-tuloksen ja loppukiriajan välillä havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio ($r=0.396$, $p=0.258$, kuvio 3). Suhteellisen 1RM:n (1RM/kehon massa) ja loppukiriajan välinen korrelaatio (kuvio 3) oli heikko ($r=0.006$). Tehoprässin ja loppukiriajan välinen korrelaatio (kuvio 4) oli niin ikään kohtalainen positiivinen ($r=0.317$, $p=0.371$). Vauhdittoman pituuden ja loppukiriajan välinen korrelaatio (kuvio 4) oli positiivinen, mutta heikko ($r=0.242$, $p=0.500$). Mikään tuloksista ei ollut tilastollisesti merkitsevä.



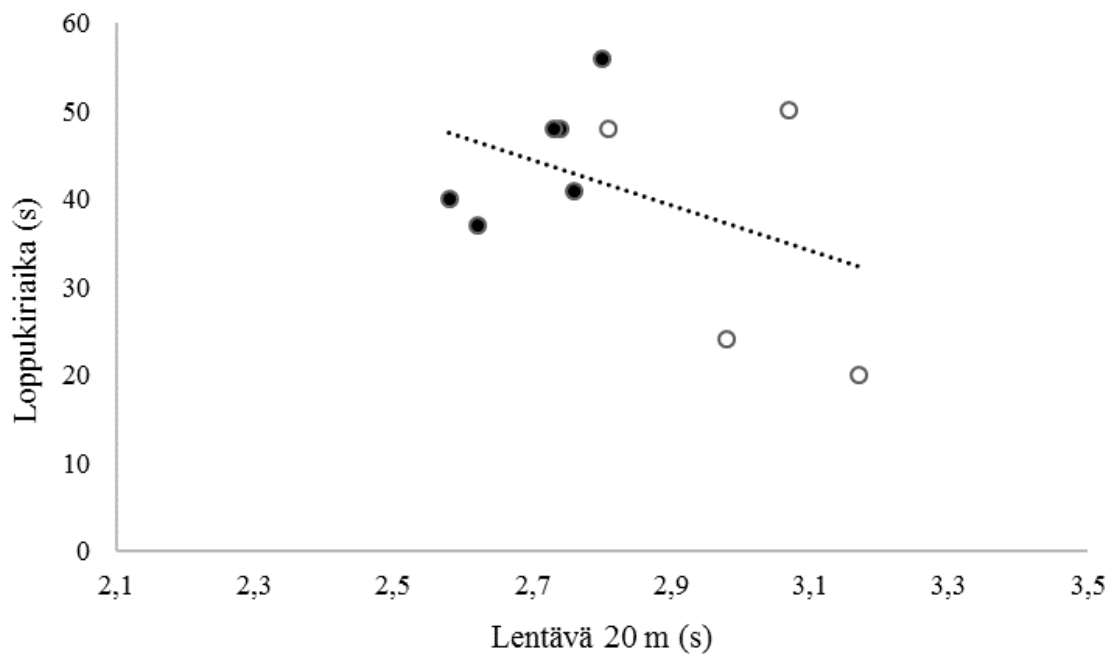
KUVIO 3. 1RM:n ja loppukiriajan välinen korrelaatio (yläosa) sekä suhteellisen 1RM:n ja loppukiriajan välinen korrelaatio (alaosa). Loppukiriajan ja absoluuttisen 1RM:n korrelaatio oli kohtalainen ($r= 0.396$), eikä tilastollisesti merkitsevä ($p=0.258$). Loppukiriajan ja suhteellisen 1RM:n yhteys oli heikko ($r=0.006$), eikä tilastollisesti merkitsevä ($p=0.988$). Mustat ympyrät kuvaavat miehiä ja valkoiset naisia.



KUVIO 4. Loppukiriäjän korrelointi tehon (yläosa) ja vauhdittoman pituuden (alaosa) kanssa. Riippuvuus tehon suhteen oli kohtalaista ($r=0.317$), muttei tilastollisesti merkitsevää ($p=0.371$). Loppukirin ja vauhdittoman pituuden välillä havaittiin heikko positiivinen korrelaatio ($r=0.242$), joka ei ollut tilastollisesti merkitsevää ($p=0.500$). Mustat ympyrät kuvaavat miehiä ja valkoiset naisia.

7.4 Nopeus

Lentävän 20 m keskimääräinen tulos tutkittavilla oli 2,83 s ($\pm 0,19$). Nopeuden ja loppukiriajan välinen korrelaatio (kuvio 5) oli kohtalainen ja negatiivinen ($r=-0.422$) eikä tilastollisesti merkitsevä ($p=0.224$). Korrelaation negatiivisuus johtuu nopeuden ilmoittamisesta aikana (s), jonka vähetessä suoritus paranee.



KUVIO 5. 20 m juoksuajan ja loppukiriajan välinen korrelaatio havaittiin negatiiviseksi kohtalaiseksi ($r=-0.422$) eikä tilastollisesti merkitseväksi ($p=0.224$). Mustat ympyrät kuvaavat miehiä ja valkoiset naisia.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tarkastella eri fyysisten ominaisuuksien yhteyttä kestävyysurheilijoiden loppukirikykyyn. Koska kestävyysurheilijoiden loppukirikykyä ja siihen vaikuttavia ominaisuuksia ei ole aikaisemmin tutkittu, rohkealle aiheen lähestymiselle oli tarvetta. Tässä tutkimuksessa loppukiriin mahdollisesti vaikuttavia fyysisiä kunto-ominaisuuksia käsiteltiin suhteellisen monipuolisesti. Mukaan otettiin sekä voima-, teho-, nopeus- että anaerobisesta kapasiteetista kertovat muuttujat tutkimuksen resurssien puitteissa sillä perusteella, että niiden arveltiin olevan merkityksellisimpiä loppukirin juoksemisessa. Vaikka aiheesta ei ole olemassa suoraa aiempaa tutkimusta, nämä ominaisuudet nähtiin niiksi, joiden joukosta loppukirikykyä selittäviä tekijöitä oletettiin löytyvän. Loppukirikyvyn voi nimittäin ajatella olevan nopeaa juoksua väsyneessä tilassa. Pikajuoksu taas vaatii nopeutta, tehoa, anaerobista energiantuottoa (Majumdar & Robergs 2011) ja voimaa (Mero ym. 1992). Lisäksi, kuten tämän tutkimuksen alkuosassa on esitetty, kyseisten ominaisuuksien on havaittu useissa tutkimuksissa olevan yhteydessä kestävyysuorituskykyyn ja myös sen loppuosaan (ks. luvut 3 ja 4).

Happivaje ja maksimilaktaatti. Loppukiriajan ei todettu olevan tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä mihinkään mitattuun fyysiseen ominaisuuteen. Suurin riippuvuus havaittiin anaerobisen kapasiteetin ja loppukiriajan välillä. Suuremman happivajejarvon saaneet urheilijat saavuttivat siis paremman tuloksen loppukiritestissä. Riippuvuus oli kuitenkin ainoastaan kohtalaista. Oletuksena oli, että happivajeen ja loppukirikyvyn välinen korrelaatio olisi tutkituista muuttujista suurin, sillä taustalla on monia tutkimuksia, jotka kertovat anaerobisten ominaisuuksien tärkeydestä kestävyysuorituksen loppuosassa (Baumann ym. 2012; Bertuzzi ym. 2014; Damasceno ym. 2015; Hettinga ym. 2006; Paavolainen ym. 1999; Paavolainen ym. 2000). Tulos oli linjassa aiemman tiedon kanssa, joskaan tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä eivätkä siten yleistettävissä suurempaan joukkoon.

Anaerobisista ominaisuuksista puhuttaessa voidaan esittää kysymys siitä, päästiinkö tässä tutkimuksessa kiinni täsmälleen niihin ominaisuuksiin, joita haluttiin mitata. Vaikka happiva-

jeen määrittäminen MAOD-menetelmällä on laajasti käytetty, vakiintunutta menetelmää sen käyttöön ei ole, eikä sitä ole todettu kovin luotettavaksi ja toistettavaksi testiksi (Noordhof ym. 2010). Bangsbo (1998) näkeekin happivajeen määrittämisessä monia ongelmia. Määrittämisessä oletetaan, että hapentarve lisääntyy lineaarisesti tehon kasvaessa ja että hapentarve on vakio vakiotehoisen suorituksen alusta loppuun (Medbø 1996). Todellisuudessa supramaksimaalisen testin hapentarve on korkeampi kuin submaksimaalisilta nopeuksilta ekstrapoloituna saadaan (Bangsbo 1998). Hapentarve siis aliarvioidaan, jolloin mitä suurempi supramaksimaalinen nopeus on, sitä korostuneempi on happivajeen aliarviointi. Toiseksi hapenotto kasvaa progressiivisesti, kun submaksimaalinen kuormitus jatkuu. Siten submaksimaalisesta kuormituksesta arvioitu hapentarve riippuu kuormien pituudesta, ja happivajeesta tulee korkeampi pidempiä kuormia käytettäessä. Kolmanneksi anaerobista energiantuottoa submaksimaalisen suorituksen aikana ei oteta huomioon laskettaessa energiantarvetta supramaksimaalisen suorituksen aikana. (Bangsbo 1998.) Noordhof ym. (2010) kokoavat review-artikkelissaan yhteen, että menetelmän luotettavuuden ja toistettavuuden lisäämiseksi submaksimaalisia kuormia tulisi olla noin kymmenen, pituudeltaan niiden pitäisi olla noin kolmesta neljään minuuttia ja teholtaan 30–90 % maksimaalisesta hapenottokyvystä, jotta saadaan lineaarinen yhteys hapenoton ja tehon välille.

Testin kestoksi pyrittiin saamaan noin minuutti, sillä suunnilleen sen pituisissa suorituksissa anaerobisen energiantuoton osuus on suurimmillaan, eikä aerobisen energiantuoton osuus ole tuolloin vielä kovin suuri (Newsholme 1992, Nummelan 2004 mukaan). Medbø ym. (1988) mukaan anaerobisen kapasiteetin testin keston tulisi olla jopa 2–3 minuuttia. Testin pituus jäi tässä tutkimuksessa kuitenkin keskimäärin 33 sekuntiin. Medbø ja Tabatan (1993) mukaan testin ollessa 30 sekunnin mittainen anaerobinen energiantuotto on 32 % pienempää kahden minuutin suoritukseen verrattuna (Medbø & Tabata 1993). Bosquet ym. (2008) vertailivat tutkimuksessaan eri metodeita määrittää happivaje suhteellisen kovatasoisilla kestävyysjuoksijoilla ja saivat kuudella eri tavalla testatessa arvoiksi keskimäärin 60,5 ml/kg, 57,0 ml/kg, 73,8 ml/kg, 30,9 ml/kg, 54,1 ml/kg ja 70,8 ml/kg. Näihin arvoihin verrattuna tämän tutkimuksen keskiarvo 32,2 ml/kg ($\pm 7,1$) jää huomattavasti pienemmäksi. Joka tapauksessa Bosquetin ym. (2008) mukaan näin vaihtelevat arvot ja heikot korrelaatiot kertovat, ettei näitä eri meto-

deilla saatuja arvoja voi verrata toisiinsa. Sekä happivajeen määrityksen epämääräisyys ylipäätään että myös tämän testin epäonnistuminen keston suhteen asettavat happivajetestin tulokset anaerobisen kapasiteetin määrittäjänä melko epäluotettavaan valoon. Happivajetestissä tutkimuksessa voidaan nähdä pelkän anaerobisen kapasiteetin mittaajan sijaan myös hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyydestä kertovana testinä.

Happivaje ja maksimilaktaatti kertovat samasta asiasta, eli anaerobisen energiantuoton tasosta (Green & Dawson 1993). Siksi oli odotettavissa, että korrelaatio sekä happivajeen että maksimilaktaatin suhteen oli samansuuntainen. Maksimilaktaatin on tosin havaittu korreloivan suorituksen kanssa huonommin kuin happivajeen (Weyand ym. 1994). Maksimilaktaatin osalta voidaan pohtia, saatiinko todellinen maksimaalinen arvo esille. Arvona käytettiin suurinta laktaattiarvoa, joka ilmeni 1, 3 ja 5 minuutin näytteissä. Kymmenellä tutkittavalla (n=12) laktaatti nousi kolmen ja viiden minuutin välillä ja oli siten suurin viiden minuutin näytteessä. Koska enempää näytteitä ei otettu, ei voida tietää, olisiko laktaatti noussut vielä tämän jälkeen. Fujitsukan ym. (1982) mukaan laktaatti saavuttaa suurimman arvonsa 6–9 minuutin jälkeen maksimaalisen minuutin kestoisen juoksumatolla tehdyn suorituksen päättymisestä ollen keskimäärin suurin 7,65 minuutin kohdalla.

Maksimi- ja nopeusvoima. Voimamuuttujien ja loppukiriajan välinen riippuvuus oli anaerobisen kapasiteetin tavoin kohtalaista lukuun ottamatta vauhditonta pituutta ja suhteellista 1RM:a, joiden suhteen riippuvuus oli heikkoa. Nykyisin on yhä enenevässä määrin tutkimusta siitä, että voimaharjoittelun avulla voidaan saavuttaa huomattavaa hyötyä kestävyysuorituskyvyssä (Balsalobre-Fernández ym. 2016; Lum 2016), ja esimerkiksi VO₂max -testin loppunopeuteen vaikuttavat myös hermolihasjärjestelmään liittyvät ominaisuudet (Jones & Carter 2000; Paavolainen ym. 2000). Lisäksi voimantuottokyvyn ei ole todettu heikkenevän kestävyysurheilijoilla kestävyysuorituksen jälkeen (García-Pinillos ym. 2015), mikä edelleen korostaisi voiman tärkeyttä kirissä. Tämän tutkimustuloksen perusteella hyvillä voimaominaisuuksilla ei voida kuitenkaan selittää hyvää loppukirikykyä.

Mielenkiintoisen tuloksista tekee myös se, että yhteys absoluuttisen 1RM:n suhteen oli kohtalaista, mutta suhteutettaessa tulos tutkittavan kehon painoon riippuvuus katosi. Voimantuottoon vaikuttavat sekä morfologiset että neurologiset tekijät (Folland & Williams 2007). Absoluuttisessa 1RM:ssa suuremmasta kehon painosta ja lihasmassasta on hyötyä, mutta sen merkitys vähenee, kun tulos suhteutetaan kehon massaan. Tämä tulos viittaisi yllättävästi siihen, että hermoston toiminta olisi loppukirissä lihasmassaa merkityksettömämpi tekijä. Aiemmissa tutkimuksissa kiri taas yhdistetään lisääntyneeseen EMG-aktiivisuuteen aktiivisissa lihaksissa (Ansley ym. 2004; Tucker ym. 2007; Noakes 2011). Joka tapauksessa tulokset eivät olleet tässä tutkimuksessa kummankaan 1RM-muuttujan suhteen tilastollisesti merkitseviä, joten niiden yleistettävyydsarvo on heikko.

Voimamuuttujien heikkoa yhteyttä voidaan osittain selittää menetelmällisten valintojen kautta. Vauhditon pituushyppy voi olla mm. käsien käytön ja ponnistuksen eteenpäin suuntaamisen vuoksi tottumattomalle melko vaikeaa, ja heikko korrelaatio voi ainakin osittain selittyä liikkeen haastavuudella muihin voimatesteihin verrattuna. Lisäksi voidaan miettiä suorituksen lajinomaisuutta ja sen käytettävyyttä juoksijoiden lajinomaisen nopeusvoiman testinä: vauhdittoman pituuden testi on molemmilla jaloilla tapahtuva suoritus, mutta itse juoksussa liike on vuorojaloin tapahtuvaa, jolloin tasajalkaponnistus ei välttämättä tuo esille juoksussa tarpeellisinta nopeusvoiman osa-alueita. 1RM-testin osalta huomionarvoista on, että sen toistettavuuteen vaikuttaa tottuminen voimaharjoitteluun (Silva-Batista ym. 2011; Ribeiro ym. 2014). Testi on todettu luotettavaksi, kun tutkittavilla on ollut taustalla ainakin kolme kuukautta yhtäjaksoista voimaharjoittelua (Dong-il ym. 2012). Sen sijaan harjoitteluun tottumattomilla testi vakiintuu luotettavalle tasolle 3–4 totuttelukerran jälkeen (Silva-Batista ym. 2011). Myös sukupuolten välillä on havaittu eroa: miehet vaativat naisiin verrattuna enemmän totuttelukertoja saavuttaakseen testissä luotettavan maksimivoimatason (Ribeiro ym. 2014). Tässä tutkimuksessa 1RM-tuloksen vakiintumiseen vaadittavaa totuttelua ja sukupuolten välistä eroa ei otettu huomioon.

Nopeus. Toiseksi suurin riippuvuus havaittiin loppukirikyvyn ja nopeuden välillä. Riippuvuus oli negatiivista: mitä paremman ajan tutkittava saavutti 20 m lentävän nopeuden testissä, sitä

parempi hänen loppukirinsä oli. Tulos on siinä mielessä hypoteesien mukainen, että loppukirin kaltaisessa nopeassa juoksussa voi ajatella tarvitsevan nopeusominaisuuksia. Tuloksia tarkastellessa selvisi eräs mielenkiintoinen asia: jokaisella tutkittavalla loppukiritestin viimeinen nopeus oli nopeampi kuin itse 20 metrin lentävän testin nopeus. Täytyy kuitenkin huomioida, että toinen testi oli suoritettu juoksumatolla ja toinen omaehtoisesti radalla, eivätkä nopeudet ole siten välttämättä verrannollisia toisiinsa. Mikäli juoksumaton oikea nopeus vastaa sen ilmoittamaa nopeutta, tämä havainto asettaa nopeustestin epäluotettavaan valoon: jokainen tutkittava pystyi todellisuudessa juoksemaan loppukiritestissä kovempaa kuin siinä testissä, jolla oli tarkoitus mitata maksimaalista nopeutta. Voi olla, että lentävän nopeustestin kiihdytysmatka ei ollut riittävän pitkä; Meron (2007) mukaan kiihdytysvaiheen keston tulisi huippukajuoksijoilla olla testissä 30–40 metriä, ja heikompiasoissilla juoksijoillakin hieman alle 30 m. Tässä tutkimuksessa käytettiin ainoastaan 10 metrin alkukiihdytystä. Loppukiriä edeltävä suoritus saattoi myös toimia tutkittavilla ikään kuin ”lämmittelynä”. Väsytyks ei nimittäin vähennä kestävyysurheilijan kykyä suorittaa voima- ja nopeusvoimasuorituksia, vaan pikemminkin parantaa sitä, mikä voi selittyä PAP:lla (post activation potentiation) (García-Pinillos ym. 2015). Nopeustesti taas tehtiin paljon lyhyemmän lämmittelyn jälkeen, eivätkä tutkittavat välttämättä saaneet siinä todellista maksimiaan esille. Toisaalta taas maksimaalinen juoksu-nopeus ei ole sama asia kuin yksittäinen voimasuoritus. Maksimaalisen nopeuden on todettu heikkenevän kestävyysuorituksen jälkeen (Paavolainen ym. 1999; Nummela ym. 2006). Joka tapauksessa nopeustestin ei voida tässä tutkimuksessa katsoa mitanneen todellista maksiminopeutta, sillä tutkittavat juoksivat kiritestissä nopeammin kuin mihin heidän maksiminopeustestin perusteella olisi ”pitänyt” pystyä.

Tutkimuksen haasteet ja heikkoudet. Tässä tutkimuksessa loppukiriä edeltävä 20 minuutin suoritus pyrittiin vakioimaan jokaiselle tutkittavalle samalle suhteelliselle tasolle. Tasona käytettiin anaerobista kynnystä, joka usein määritellään suurimmaksi tehoksi, jolla dynaamista jatkuvaa suoritusta voidaan ylläpitää (Billat ym. 2003). Anaerobisen kynnyksen nopeus korreloi voimakkaasti kestävyysuorituskyvyn kanssa (Maffulli ym. 1991; Nicholson & Sleivert 2001; Sjödin & Svedenhag 1985). Käyttämällä anaerobista kynnystä tietyn maksimaalisesta hapenottokyvystä olevan prosenttiosuuden sijaan pystyttiin huomioimaan se seikka, että no-

peus ja anaerobinen kynnys, jolla urheilija kykenee kestävyysuorituksen juoksemaan, on harjoittelutaustasta ja kestävyysominaisuuksista riippuen eri henkilöillä eri prosenttiosuudella maksimaalisesta hapenottokyvystä (Bassett & Howley 2000; Sjödén & Svedenhag 1985). Tason asettaminen siten esimerkiksi 80 %:lle maksimaalisesta hapenottokyvystä huomioimatta kynnystasoa voi parempikuntoiselle olla anaerobisella kynnyksellä ja heikompi-kuntoiselle reilusti sen yläpuolella.

Kynnys oli kullakin tutkittavalla eri tasolla ja siten eri absoluuttisella nopeudella. Korkean kestävyysuorituskyvyn ja hyvät aerobiset ominaisuudet omaava urheilija saattoi joutua siten tässä tutkimuksessa juoksemaan kireä edeltävän suorituksen suuremmalla absoluuttisella nopeudella, ja kirein lähdettäessä hänellä saattoi olla hermolihajärjestelmän puolesta ikään kuin vähemmän ”varaa” kasvattaa juoksunopeutta verrattuna urheilijaan, jolla anaerobinen kynnys oli matalammalla. Loppukirijasta saattoi tulla lyhempi, vaikka hän olisi itse asiassa juossut suuremmalla nopeudella kuin heikomman anaerobisen kynnyksen juoksija. Vaikka siis näillä kahdella urheilijalla voimaominaisuudet ja niiden vaikutus juoksunopeuteen olisivat olleet samat, kireä saattoi näyttäytyä heikompana urheilijalla, joka lähti siihen korkeammalta tasolta.

Toisaalta anaerobisen kynnyksen käyttö saattoi olla hyväkuntoisille urheilijoille myös eduksi. Hyväkuntoinen urheilija voi nimittäin kyetä juoksemaan kestävyysuorituksen myös laktaattikynnystä suuremmalla nopeudella (Jones 1998). Mikäli tutkittavalla oli hyvät aerobiset ominaisuudet, hän olisi saattanut pystyä juoksemaan koko suorituksen oikeastaan nopeammin, kuin asetettu vauhti oli. Tällainen urheilija ei välttämättä ollut kirein lähdettäessä yhtä väsynyt kuin urheilija, jolle anaerobista kynnystä vastaava vauhti oli todellinen maksimivauhti kyseisessä suorituksessa. Parempikuntoinen urheilija saattoi siis pystyä lähtemään kirein väsymättömämmässä tilassa ja saavuttamaan siten pidemmän loppukirin. Tämän aiheen suurimpana haasteena voidaankin nähdä juuri kireä edeltävän suorituksen rasittavuuden asetus siten, että se on kaikille tutkittaville samalla tasolla ja asettaa heidät samanlaiseen asemaan kirein lähdettäessä.

Tutkimuksen toisena heikkoutena voidaan nähdä vähäinen tutkittavien määrä (n=10). Kun tutkittavien määrä on pieni, tilastollisesti merkitseviä tuloksia on hankalampi saada, jolloin myös laajemmin kestävyysurheilijoihin sovellettavia johtopäätöksiä ei voida tehdä. Tässä tutkimuksessa tutkittavat koostuivat miehistä ja naisista, eikä tilastollisia testauksia suoritettu pienestä osallistujamäärästä johtuen sukupuolille erikseen. Suuremman tutkittavien määrän lisäksi kohdejoukko olisi parhaassa tapauksessa myös sukupuoleltaan homogeeninen.

Kestävyysuorituksesta puhuttaessa maksimaalinen hapenottokyky ja kynnysominaisuudet ovat erittäin tärkeitä ominaisuuksia (Tjelta & Shalfawi 2016). Hapenottokykyä ei kuitenkaan käytetty tässä tutkimuksessa yhtenä loppukirikykyä mahdollisesti määrittävistä muuttujista, sillä sen ajateltiin olevan tärkeä tekijä kestävyys- (Tjelta & Shalfawi 2016), ei pikamatkoilla (Majumdar & Robergs 2011), jota loppukiri edustaa, ja antavan suurimman merkityksensä kirin sijaan edeltävään suoritukseen. Kuitenkin myös hapenottokyky ja esimerkiksi anaerobisen kynnyksen sijainti voisivat olla jatkossa hyviä mukaan otettavia muuttujia. Niin ikään juoksuteknilliset asiat voisivat olla sellaisia, joita kandidaatin tutkielmaa laajemmissa aihetta käsittelevissä tutkimuksissa voisi ottaa huomioon. Hyvään pikajuoksusuoritukseen liittyy myös tekninen ja koordinaatiivinen puoli (Majumdar & Robergs 2011). Valmennuspuolella pikajuoksu nähdäänkin pitkälti myös taitolajina (Jouste 2016), ja näitä taito-ominaisuuksia on vaikea määrittää.

Loppukiriin, kuten kaikkiin urheilusuorituksiin, vaikuttaa myös psykologinen puoli. Esimerkiksi tutkittavien motivaatioita ei pystytty kontrolloimaan. Ainakin loppukiri- ja anaerobisen kapasiteetin testi olivat luonteeltaan sellaisia, että ne vaativat urheilijalta tahtoa jaksaa vielä silloinkin, kun tuntui, ettei jaksaisi. CGM-mallin (central governorn model) mukaan suorituksen aikana aivot työskentelevät koko ajan laskien suorituksen vaatimaa ponnistelua suhteessa ympäristön ja fysiologiseen tilaan (Gibson & Noakes 2004) ja rekrytoivat lihaksia periferiasta saapuvan palautteen mukaan (Noakes 2011). Alitajuiset aivojen osat informoivat tiedostavaa aivojen osaa lisääntyneestä ponnistelusta, joka koetaan aivoissa väsymyksen tunteena (Gibson & Noakes 2004). Motivaatio ja käsitys omasta pystyvyydestä vaikuttavat yhtenä osana tässä väsymysprosessissa (Noakes 2011). Laboratorio-olosuhteissa tehdyt suoritukset eronnevat

motivaation osalta paljon oikeista kilpailusuorituksista. Kilpailun lopussa suoritettavassa loppukirissä mukana lienee erityistä tahtoa ja kamppailua kilpakumppaneita vastaan. Lisäksi kilpailusuoritus on tietyn mittainen, ja matkan pituus on kilpailijoilla etukäteen tiedossa. Simuloitu loppukiri sen sijaan on ”päättymätön”, mikä saattaa vaikuttaa tavoitteen epämääräisyyden kautta suoritukseen asennoitumiseen ja motivaatioon. Todellista kilpailutilannetta laboratoriossa ei voida missään tilanteessa saavuttaa.

Laboratorio-olosuhteissa simuloitu loppukiri eroaa oikeasta loppukiristä myös siinä suhteessa, että se on malliltaan tarkasti vakioitu. Juoksumatolla tehty kiri on tutkimusmenetelmällisesti helpompi, koska vauhti voidaan vakioida, jolloin tuloksiin eivät vaikuta sen muuttumiseen liittyvät tekijät. Vakioitu suoritus poikkeaa kuitenkin suuresti aidosta kilpailusuorituksesta. Ensinnäkään edeltävä kestävyys suoritus ei varmasti ole aina täysin vakiotehoinen, ja toiseksi loppukiri on sitä vielä vähemmän. Tässä tutkimuksessa nopeutta nostettiin kirissä 15 sekunnin välein. Joissain tilanteissa kiri voi olla tällainen asteittain nouseva, mutta se voi olla myös esimerkiksi loppusuoran viimeisten kymmenien metrien kamppailu, tai toisaalta vaikka tasaisen kova viimeinen kierros.

Edellä esitettyjen havaintojen perusteella voidaan miettiä, onko loppukiri loppujen lopuksi edes sellainen asia, että sitä voi tai kannattaa laboratoriossa tutkia. Kuinka suuri osuus kilpailutilanteella kiriin on? Miten kiri voidaan vakioida sellaiseksi, että sitä pystyisi missään suhteessa yleistämään laajemmin? Onko loppukiri niin tilannesidonnainen ilmiö, ettei sen tutkiminen simuloitulla mallilla ole edes mielekästä? Miten ratkaistaan edeltävän suorituksen vakioimiseen liittyvät haasteet? Aihetta voisi jatkossa alkaa lähestyä tutkimalla ensin loppukirien luonnetta esimerkiksi videoanalyysien avulla. Millaisia kirejä kestoltaan, pituudeltaan ja vauhdinjaoltaan käytetään? Jos ei edes tiedetä, minkälaista suoritusta tarkalleen ottaen ollaan tutkimassa, tutkimusta on hyvin vaikea rakentaa. Pohtia voisi myös, pystyisikö loppukirisuorituksen tutkimisen viemään jollakin konstilla enemmän kenttäolosuhteisiin tai jopa kilpailutilanteeseen.

Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset. Tässä tutkimuksessa mikään anaerobisista tai voimaominaisuuksista ei selittänyt loppukirikykyä voimakkaasti eikä tilastollisesti merkitsevästi. Suurin yhteys havaittiin anaerobisen kapasiteetin ja loppukirikyvyn välillä. Kaikki riippuvuudet olivat vain kohtalaisia lukuun ottamatta vauhditonta pituutta ja suhteellista 1RM:a, joiden riippuvuudet olivat heikkoja. Tämän tutkimuksen perusteella loppukirikykyä selittäviä fyysisistä ominaisuuksista ei voida vetää laajoja johtopäätöksiä, eikä minkään yksittäisen ominaisuuden avulla voida selittää loppukirikykyä toisia paremmin. Tämän vuoksi valmentajien ja urheilijoiden ei tulisi rakentaa voima- tai anaerobisten ominaisuuksien harjoitusohjelmaa päätavoitteenaan parantaa loppukirikykyä tai ainoastaan sitä. Tämän tutkimus ei kuitenkaan anna mitään perusteita sulkea pois voima- ja anaerobisten ominaisuuksien tärkeyttä kestävyys-suoritukselle yleensä, sillä niiden hyöty kestävyys-suorituksissa on useissa tutkimuksissa laajasti tunnustettu. Aiheen haastavuudesta ja menetelmällisistä ongelmista johtuen on myös edelleen mahdollista, että tässä näiden muuttujien joukossa on loppukirikykyä selittäviä tekijöitä. Aihe vaati paljon lisää tutkimusta, ennen kuin pidemmälle meneviä johtopäätöksiä voidaan tehdä.

KIITOKSET

Haluan kiittää kandidaatintutkielmani valmistumisesta loppukiriprojektin vetäjiä Jussi Mikko-
laa sekä työnohjaajanakin toiminutta Juha Ahtiaista, samassa projektissa pro gradu -
tutkielmaa tehnyttä Riikka Varjusta sekä kaikkia tutkittavia. Kiitokset haluan osoittaa myös
seminaarilaisilleni sekä opponenteilleni. Näkökulmia herättäneistä keskusteluista haluan kiit-
tää lisäksi opiskelukollegaani Pekka Matomäkeä.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Crameri, R., Magnusson, S. P. & Kjaer M. 2011. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21 (6), 298–307.
- Ahtiainen, J. & Häkkinen, K. 2007. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim). *Kuntotestauksen käsikirja*. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 125–188.
- Ansley, L., Schabort, E., Gibson, A., Lambert, M. I. & Noakes, T. D. 2004. Regulation of pacing strategies during successive 4-km time trials. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36 (10), 1819–1825.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J. & Grivas, G. V. 2016. Effects of Strength Training on Running Economy in Highly Trained Runners: A Systematic Review With Meta-Analysis of Controlled Trials. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30 (8), 2361–2368.
- Bangsbo, J. 1996. Oxygen deficit: a measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Canadian Journal of Applied Physiology* 21 (5), 350–363.
- Bangsbo, J. 1998. Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30 (1), 47–52.
- Bangsbo, J., Gunnarsson, T. P., Wendell, J., Nybo, L. & Thomassen, M. 2009. Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na⁺-K⁺ pump α 2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *Journal of applied Physiology* 107 (6), 1771–1780.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. 2015. Strategies to improve running economy. *Sports Medicine* 45 (1), 37–56.
- Bassett, D. R. & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (1), 70–84.

- Baumann, C. W., Rupp, J. C., Ingalls, C. P. & Doyle, J. A. 2012. Anaerobic work capacity's contribution to 5-km-race performance in female runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 7 (2), 170–174.
- Bellinger, P. M. 2014. β -alanine supplementation for athletic performance: an update. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (6), 1751–1770.
- Bertuzzi, R., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O, Damasceno, M. V., Bueno, S., Pasqua, L. A. & Bishop, D. J. 2014. Pacing strategy determinants during a 10-km running time trial: contributions of perceived effort, physiological, and muscular parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (6), 1688–1696.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J-P. & Mercier, J. 2003. The Concept of Maximal Lactate Steady State: A Bridge Between Biochemistry, Physiology and Sport Science. *Sports Medicine* 33 (6), 407–426.
- Bosquet, L., Duchene, A., Delhors, P. R., Dupont, G. & Carter, H. 2008. A comparison of methods to determine maximal accumulated oxygen deficit in running. *Journal of Sports Sciences* 26 (6), 663–670.
- Coburn, J. W. 2012. Measuring Power. *Strength & Conditioning Journal* 34 (6), 25–28.
- Damasceno, M. V., Lima-Silva, A. E., Pasqua, L. A., Tricoli, V., Duarte, M., Bishop, D. J. & Bertuzzi, R. 2015. Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *European Journal of Applied Physiology* 115 (7), 1513–1522.
- Dong-il, S., Eonho, K., Fash, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., Thiebaud, R., Sherk, V. D., Loenneke, J. P., Daeyeol. K., Man-ki, L., Kyung-hoon, C., Bemben, D. A., Bemben, M. G. & Wi-Young, So. 2012. Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *Journal of Sports Science & Medicine* 11 (2), 221–225.
- Feeney, D., Stanhope, S. J., Kaminski, T. W., Machi, A. & Jaric, S. 2016. Loaded Vertical Jumping: Force-Velocity Relationship, Work, and Power. *Journal of Applied Biomechanics* 32 (2), 120–127.
- Fink, W. J., Costill, D. L. & Pollock, M. L. 1977. Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part II. Muscle fiber composition and enzyme activities. *Annals of the New York Academy of Sciences* 301, 323–327.

- Folland, J. P. & Williams, A. G. 2007. The adaptations to strength training - morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 37 (2), 145–168.
- Foster, C., deKoning, J. J., Hettinga, F., Lampen, J., Dodge, C., Robbert, M. & Porcari, J. P. 2004. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. *International Journal of Sports Medicine* 25 (3), 198–204.
- Fujitsuka, N., Yamamoto, T., Ohkuwa, T. & Saito, M. 1982. Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. *European Journal of Applied Physiology* 48 (3), 289–296. [tiivistelmä]
- García-Pinillos, F., Soto-Hermoso, V. M. & Latorre-Román, P. A. 2015. Acute effects of extended interval training on countermovement jump and handgrip strength performance in endurance athletes: postactivation potentiation. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (1), 11–21.
- Gastin, P. B. 2001. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine* 31 (10), 725–741.
- Gibson, A. & Noakes, T. D. 2004. Evidence for complex system integration and dynamic neural regulation of skeletal muscle recruitment during exercise in humans. *British Journal of Sports Medicine* 38 (6), 797–806.
- Graham, T. E. 1996. Oxygen deficit: introduction to the assumptions and the skepticism. *Canadian Journal of Applied Physiology* 21 (5), 347–349.
- Green, S. & Dawson, B. 1993. Measurement of anaerobic capacity in humans: definitions, limitations and unsolved problems. *Sports Medicine* 15 (5), 312–327.
- Guimaraes Couto, P., Bertuzzi, R., de Souza, C. C., Marani Lima, H., Peduti Dal Molin Kiss, M. A., de-Oliveira, F. R. & Lima-Silva, A. E. 2015. High Carbohydrate Diet Induces Faster Final Sprint and Overall 10,000-m Times of Young Runners. *Pediatric Exercise Science* 27 (3), 355–563.
- Hansen, E. A., Ronnestad, B. R., Vegge, G. & Raastas, Truls. 2012. Cyclists' Improvement of Pedaling Efficacy and Performance After Heavy Strength Training. *International Journal of Sports Physiology* 7 (4), 313–321.
- Hettinga, F. J., De Koning, J. J., Broersen, F. T., Van Geffen, P. & Foster, C. 2006. Pacing Strategy and the Occurrence of Fatigue in 4000-m Cycling Time Trials. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 38 (8), 1484–1491.

- Hickner, R. C., Dyck, D. J., Sklar, J., Hatley, H. & Byrd, P. 2010. Effect of 28 days of creatine ingestion on muscle metabolism and performance of a simulated cycling road race. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 7 (26), 13s.
- Hildebrand, A., Lormes, W., Emmert, J., Liu, Y., Lehmann, M. & Steinacker, J. M. 2000. Lactate Concentration in Plasma and Red Blood Cells During Incremental Exercise. *International Journal of Sports Medicine* 21(7), 463–468.
- Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. 2002. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 12 (5), 288–295.
- Iaia, F. M., Thomassen, M., Kolding, H., Gunnarsson, T., Wendell, J., Rostgaard, T., Nordborg, N., Krstrup, P., Nybo, L., Hellsten, Y. & Bangsbo, J. 2008. Reduced volume but increased training intensity elevates muscle Na⁺-K⁺ pump alpha1-subunit and NHE1 expression as well as short-term work capacity in humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 294 (3), 966–974.
- Iaia, F. M. & Bangsbo, J. 2010. Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20 (2), 11–23.
- Jakšič, D. & Cvetković, M. 2009. Reliability of tests for assessing explosive strength in physical education students: how reliable are they and how can the proper one be chosen? *Kinesiologia Slovenica* 15 (1), 49–56.
- Jones, A. M. 1998. A five year physiological case study of an Olympic runner. *British Journal of Sports Medicine* 32 (1), 39–43.
- Jones, A. M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine* 29 (6), 373–386.
- Jouste, P. 2016. Nopeusvalmennusta huippu-urheilussa. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Luentodiat.
- Kay, D., Marino, F. E., Cannon, J., Gibson, A., Lambert, M. I. & Noakes, T. D. 2001. Evidence for neuromuscular fatigue during high-intensity cycling in warm, humid conditions. *European Journal of Applied Physiology* 84 (1–2), 115–121.

- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Tampere: Tammer-Paino oy.
- Kyröläinen, H. 2004. Nopeusvoima. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim). Kuntotestauksen käsikirja. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 149–163.
- Kyröläinen, H., Belli, A. & Komi, P. V. 2001. Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (8), 1330–1337.
- Lima-Silva, A. E., Bertuzzi, R. C., Pires, F. O., Barros, R. V., Gagliardi, J. F., Hammond, J., Kiss, M. A. & Bishop, D. J. 2010. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. *European Journal of Applied Physiology* 108 (5), 1045–1053.
- Lum, D. 2016. Effects of Performing Endurance and Strength or Plyometric Training Concurrently on Running Economy and Performance. *Strength and Conditioning Journal* 38 (3), 26–35.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N. & Duchateau, J. 2016. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology* 116 (6), 1091–1116.
- Maffulli, N. Capasso, G. & Lancia, A. 1991. Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. *The Journal of Sports Medicine & Physical Fitness* 31 (3), 332–338. [tiivistelmä]
- Majumdar, A. S. & Robergs, R. A. 2011. The Science of Speed: Determinants of Performance in the 100 m Sprint. *International Journal of Sports Science & Coaching* 6 (3), 479–495.
- Maughan, R. & Gleeson, M. 2010. *The biochemical basis of sports performance*. 2. painos. New York: Oxford University Press.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. & Cardinale, M. 2004. Reliability and factorical validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18 (3), 551–555.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Medbø, J. I. 1996. Is the Maximal Accumulated Oxygen Deficit an Adequate Measure of the Anaerobic Capacity. *Canadian Journal of Applied Physiology* 21 (5), 370–383.

- Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. & Sejersted, O. 1988. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology* 64 (1), 50–60.
- Medbø, J. I. & Tabata, I. 1993. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology* 75 (4), 1654–1660. [tiivistelmä]
- Mero, A. Nopeus. 2007. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim). *Kuntotestauksen käsikirja*. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 164–168.
- Mero, A., Jouste, P. & Keränen, T. 2007. Nopeus. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen & K. Häkkinen (toim). *Urheiluvalmennus*. Lahti: VK-Kustannus Oy, 293–310.
- Mero, A., Komi, P. V. & Gregor, R. J. 1992. Biomechanics of sprint running: a review. *Sports Medicine* 13 (6), 376–392.
- Methenitis, S., Karandreas, N., Spengos, K., Zaras, N., Stasinaki, A. N. & Terzis, G. 2016. Muscle Fiber Conduction Velocity, Muscle Fiber Composition, and Power Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (9), 1761–1771.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. 2011. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal of Sports Sciences* 29 (13), 1359–1371.
- Mikkola, J. 2017. Suullinen tiedonanto 18.4.2017, Jyväskylä.
- Munekani, I. & Ellapen, T. 2015. Does concurrent strength and endurance training improve endurance running? A systematic review. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation & Dance* 21 (1), 46–58.
- Nicholson, R. M. & Sleivert, G. G. 2001. Indices of lactate threshold and their relationship with 10-km running velocity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33 (2), 339–342.
- Noakes, T. D. 2011. Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied Physiology, nutrition, and Metabolism* 36 (1), 23–25.

- Noordhof, D. A., de Koning, J. I. & Foster, C. 2010. The Maximal Accumulated Oxygen Deficit Method: A Valid and Reliable Measure of Anaerobic Capacity? *Sports Medicine* 40 (4), 285–102.
- Noordhof, D. A., Skiba, P. F. & de Koning, J. J. 2013. Determining Anaerobic Capacity in Sporting Activities. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8 (5), 475–482.
- Nummela, A. 2004. Energia-aineenvaihdunta ja kuormitus. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen & K. Häkkinen (toim). *Urheiluvalmennus*. Lahti: VK-Kustannus Oy, 97–126.
- Nummela, A., Paavolainen, L. M., Sharwood, K. A., Lambert, M. I., Noakes, T. D. & Rusko, H. K. 2006. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology* 97 (1), 1–8.
- Nummela, A. 2007. Aerobisen kestävyuden suorat mittausmenetelmät. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim). *Kuntotestauksen käsikirja*. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 64–78.
- Nummela, A., Hämäläinen, I. & Rusko, H. 2007. Comparison of maximal anaerobic running tests on a treadmill and track. *Journal of Sports Sciences* 25 (1), 87–96.
- Ohkuwa, T., Kato, Y., Katsumata, K., Nakao, T. & Miyamura, M. 1984. Blood lactate and glycerol after 400-m and 3,000-m runs in sprint and long distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 53 (3), 213–218. [tiivistelmä]
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H. & Häkkinen, K. 1999. Neuromuscular Characteristics and Fatigue During 10 km Running. *International Journal of Sports Medicine* 20 (8), 516–521.
- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. 2000. Muscle power factors and Vo₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 10 (5), 286–291.
- Renfree, A., West, J., Corbett, M., Rhoden, C. & Gibson, A. 2012. Complex Interplay Between Determinants of Pacing and Performance During 20-km Cycle Time Trials. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 7 (2), 121–129.

- Ribeiro, A. S., do Nascimento, M. A., Salvador, E. P., Gurjão, A. L. D., Avelar, A., Ritti-Dias, R. M., Mayhew, J. L. & Cyrino, E. S. 2014. Reliability of one-repetition maximum test in untrained young adult men and women. *Isokinetics & Exercise Science* 22 (3), 175–182.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F. & Parker D. 2004. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 287 (3), 502–516.
- Roelands, B., de Koning, J., Foster, C., Hettinga, F. & Meeusen, R. 2013. Neurophysiological determinants of theoretical concepts and mechanisms involved in pacing. *Sports Medicine* 43 (5), 301–311.
- Rønnestad, B. R. & Mujika, I. 2014. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: a review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24 (4), 603–612.
- Silva-Batista, C., Tricoli, V., Laurentino, G. C., Batista, M. A. B., Okuno, N. M. & Ugrinowitsch, C. 2011. Effect of familiarization on the stabilization of 1RM values for men and women. *Motriz: Revista de Educação Física* 17 (4), 610–617. [tiivistelmä]
- Sjödén, B. & Svedenhag, J. 1985. Applied Physiology of Marathon Running. *Sports Medicine* 2 (2), 83–99.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J. & Watsford, M. L. 2003. The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology* 89 (1), 1–7.
- Taunton, J. E., Maron, H. & Wilkinson, J. G. 1981. Anaerobic performance in middle and long distance runners. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences* 6 (3), 109–113. [tiivistelmä]
- Tharp, L., Berg, K., Latin, R. W. & Stuberg, W. 1997. The relationship of aerobic and anaerobic power to distance running performance. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation* 7 (3-4), 215–225.
- Tjelta, L. I. & Shalfawi, S. A. I. 2016. Physiological factors affecting performance in elite distance runners. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tatuensis* 22, 7–19.
- Trappe, S., Luden, N., Minchey, K., Raue, U., Jemiolo, B. & Trappe, T. A. 2015. Skeletal muscle signature of a champion sprint runner. *Journal of Applied Physiology* 118 (12), 1460–1466.

- Tucker, R., Lambert, M. I. & Noakes, T. D. 2006. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 1 (3), 233–245.
- Tucker, R., Kayser, B., Rae, E., Raunch, L., Bosch, A. & Noakes T. 2007. Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. *European Journal of Applied Physiology* 101 (6), 771–781.
- Van Thienen, R., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T. & Hespel, P. 2009. Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 41 (4), 898–903.
- Vorup, J., Tybirk, J., Gunnarsson, T. P., Ravnholt, T., Dalsgaard, S. & Bangsbo, J. 2016. Effect of speed endurance and strength training on performance, running economy and muscular adaptations in endurance-trained runners. *European Journal of Applied Physiology* 116 (7), 1331–1341.
- 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.
- Vuksanovikj, V., Jovanovski, J., Klincarov, I., Starc, G. & Sejkeroski, M. 2016. Relation between the standing vertical jump (abalak test) standing long jump, and squat jump 2 legs 5 jumps (optojump) tests for assessment of the explosive strength of legs. *Research in Physical Education, Sport & Health* 5 (2), 91–95.
- Westerblad, H. 2016. Acidosis Is Not a Significant Cause of Skeletal Muscle Fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 48 (11), 2339–2342.
- Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A. & Liu, Y. L. 1994. Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 26 (9), 1174–1180.