

**MATALATEHOISEN KUORMITUKSEN RASITUKSENSIEDON JA
MAKSIMAALISEN HAPENOTTOKYVYN VÄLINEN YHTEYS**

Valtteri Virtanen

Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2022

TIIVISTELMÄ

Virtanen, V. 2022. Matalatehoisen kuormituksen rasituksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välinen yhteys. Jyväskylän yliopisto. Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 37 s.

Rasituksensiedolla tarkoitetaan urheilijan tai kuntoilijan kykyä ylläpitää tiettyä tehoa pitkään. Suomalaisessa valmennuksessa käytetty termi peruskestävyys kuvastaa samaa asiaa matalatehoisessa kuormituksessa. Maksimaalinen hapenottokyky sen sijaan on yksi kestävyyssuorituskykyä määrittävä tekijä ja sen testaamista suositetaan usein kestävyysurheilijoilla ja kuntoilijakujilla yhtenä kestävyyskunnan mittarina. Tämän tutkielman tarkoituksena oli tutkia, onko matalatehoisen kuormituksen rasituksensiedolla yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn. Rasituksensietoa tarkasteltiin tässä tutkielmassa seuraamalla sykereserviin suhteutettua sykkeen muutosta pitkäkestoisen matalatehoisen polkupyöräergometrikuormituksen aikana. Lisäksi tutkittiin, onko pitkäkestoisen matalatehoisen kuormituksen aikaisella sykkeen ja koetun kuormituksen (RPE) muutoksilla yhteyttä.

Tutkimukseen osallistui yhteensä 44 koehenkilöä, joista naisia oli 26 ja miehiä 18. Tutkimus koostui polkupyöräergometrilla suoritetuista suorasta maksimaalisen hapenottokyvyn testistä ja kolmen tunnin tasavauhtisesta peruskestävyytestistä. Maksimaalisen hapenottokyvyn testin perusteella koehenkilöiltä kerättiin maksimaalinen hapenottokyky, maksimisyke ja määritettiin aerobinen kynnys. Kolmen tunnin peruskestävyydesti suoritettiin teholla, joka vastasi 50 prosenttia maksimaalisen hapenottokyvyn tehosta. Testistä saatiin tietää koehenkilöiden RPE:n ja sykkeen muutokset testin aikana. Sykkeen muutos suhteutettiin sykereserviin, joka laskettiin vähentämällä ennen testiä istuen mitattu leposyke maksimaalisen hapenottokyvyn testistä saadusta maksimisykkeestä. Tutkielman tulosten tilastolliseen analysointiin käytettiin IBM SPSS Statistics 28.0-ohjelmaa, jossa tehtiin normaalisuustarkistukset Shapiro-Wilkin testillä ja tarkasteltiin muuttujien korrelaatioita Pearsonin ja Spearmanin korrelaatiotesteillä. Tilastollisen merkitsevyytason rajana käytettiin p-arvoa 0,05.

Tutkielman tuloksien perusteella VO_2max :lla ei ole yhteyttä matalatehoisen kuormituksen rasituksensietoon, kun käytetään sykereserviin suhteutettua sykkeen muutosta rasituksen kertymisen kuvaajana. ($r = 0,013$, $p = 0,935$). Myöskään sykereserviin suhteutetun sykkeen ja RPE:n muutoksen väliltä ei löydetty yhteyttä ($r = 0,056$, $p = 0,719$). Testin aikainen sykkeen nousu oli keskimäärin $13,4 (\pm 6,9)$ prosenttia sykereservistä ja RPE:n nousu $3,5 (\pm 1,8)$ yksikköä. Tarkasteltaessa miesten ja naisten tuloksia erillään, ei löydetty myöskään korrelaatiota VO_2max in ja sykereserviin suhteutetun sykkeen muutoksen eikä sykereserviin suhteutetun sykkeen muutoksen ja RPE:n väliltä.

Tämän tutkielman perusteella rasituksensieto näyttäisi olevan maksimaalisesta hapenottokyvystä irrallinen kestävyysuorituskykyyn liittyvä tekijä. Tutkielman tulokset jättivät kuitenkin myös mietittävää sen suhteen, onnistuiko sykereserviin suhteutettu sykkeen muutos kuvaamaan rasituksensietoa täysin, sillä se ei ollut yhteydessä koehenkilöiden kokemaa rasittuneisuutta kuvaavan RPE:n kanssa.

Asiasanat: Rasituksensieto, peruskestävyys, maksimaalinen hapenottokyky, kestävyysuorituskyky, sykereservi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY	3
2.1 Maksimaalista hapenottokykyä määrittävät ja rajoittavat tekijät	3
2.2 Harjoittelu ja maksimaalinen hapenottokyky	4
3 VÄSYMINEN	6
3.1 Väsymismekanismit	6
3.2 Miesten ja naisten väliset erot väsymisessä.....	9
3.3 Sykkeen ajautuminen.....	9
4 RASITUKSENSIETO	12
4.1 Rasituksensiedon merkitys	12
4.2 Rasituksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välinen yhteys.....	13
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	14
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	15
6.1 Tutkittavat.....	15
6.2 Tutkimusasetelma.....	16
6.2.1 Maksimaalisen hapenottokyvyn testi	16
6.2.2 Kolmen tunnin peruskestävyystesti.....	17
6.3 Tilastolliset menetelmät.....	19
7 TULOKSET	20
8 POHDINTA.....	22
LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Tämä tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko matalalla teholla tapahtuvan kuormituksen rasiuksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä yhteyttä. Rasiuksensietoa tässä tutkielmassa tarkastellaan seuraamalla sykereserviin suhteutettua sykkeen muutosta pitkäkestoisen matalatehoisen polkupyöräergometrikuormituksen aikana. Suhteellista sykkeen muutosta verrataan myös koetun kuormittuneisuuden muutokseen kuormituksen aikana, jolla pyritään tarkastelemaan suhteellisen sykkeen muutoksen onnistumista rasiuksensiedon kuvaajana. Rasiuksensietoon yhteydessä olevien tekijöiden ymmärtäminen on tärkeää harjoittelun suunnittelun, yksilöllisen ohjelmoinnin sekä rasiuksensiedon taustalla mahdollisesti vaikuttavien tekijöiden ymmärtämisessä.

Maksimaalinen hapenottokyky on yksi kestävyys suorituskykyä määrittävä tekijä (Storen ym. 2013). Maksimaalisen hapenottokyvyn testaamiseen on olemassa luotettavia menetelmiä ja sen testaamista suositaankin usein kestävyysurheilijoilla ja kuntoliikkujuilla. Maksimaalisessa hapenottokyvyssä on todettu vaihtelua yksilöiden välillä sekä harjoittelun (Helgerud ym. 2007), että harjoittelusta riippumattomien yksilöllisten tekijöiden kautta (Martino ym. 2002).

Peruskestävyydestä (Nummela 2019, 49) ja peruskestävyysharjoittelusta (Nummela & Häkkinen 2016, 273–274) puhutaan suomenkielisessä valmennuksessa yhtenä aerobisen kestävysharjoittelun palasena. Englanninkielisestä kirjallisuudessa ei ole kuitenkaan ollut selvää termiä peruskestävyydelle. Maunderin ym. (2021) esittelemä termi durability, joka tarkoittaa urheilijan kykyä ylläpitää tiettyä tehoa pitkään, on hyvin lähellä suomen peruskestävyysharjoittelun käsitettä, vaikkakin he käyttävät durability-termiä kuvaamaan myös kovemmalla teholla tapahtuvaa tehon ylläpitoa. Tässä työssä durability-termistä käytetään käännöstä rasiuksensieto, joka kuvaa termiä paremmin kuin peruskestävyys. Koska peruskestävyyttä ei ole aiemmin määritelty ei sitä ole suoraan tutkittu ominaisuutena.

Tutkimuksissa on kuitenkin tarkasteltu väsymiseen vaikuttavia tekijöitä (Abbiss & Laursen 2005) ja yksittäisten fysiologisten suureiden, kuten sykkeen muutosta pitkäkestoisessa matalatehoisessa suorituksessa (Dawson ym. 2005). Koska tässä työssä käytetään sykettä kuvaamaan rasittuneisuuden nousua, on cardiovascular drift-termin eli sykkeen ajautumisen ymmärtäminen tärkeää, sillä halutaan tietää, onko sykkeen nousu kuormituksen aikana seurausta

väsymisestä. Sykkeen ajautumisella tarkoitetaan sykkeen nousua ja iskutilavuuden laskua kestävyysuorituksen edetessä, kun suoritus on kestänyt yli 5–10 minuuttia.

Käytännön valmennuksessa matalatehoisessa kuormituksessa tapahtuvaa väsymistä on pyritty testaamaan erilaisilla menetelmillä. Martikainen (2018, 140) kertoo kirjassaan kestävyystestistä, jossa tehdään pyöräillen 3–3,5 tunnin aikana 2000 kJ (naiset) tai 3000 kJ (miehet) mekaanista työtä, jonka jälkeen mitataan, kuinka kauan henkilö kykenee ylläpitämään pyöräillen 110 prosentin tehoa kynnystehosta. Kynnysteholla Martikainen tarkoittaa anaerobista kynnystä lähellä olevaa tasoa, joka ei ole kuitenkaan anaerobisen kynnyksen tapaan määritetty laboriotestillä vaan kenttätestillä (Martikainen 2018, 29). Martikaisen esittelemää kestävyystestiä toistettaessa voidaan vertailla tehoalueella vietettyä aikaa, mutta lisäksi voidaan verrata tulosta ilman esikuormitusta tehtyyn samalla teholla suoritettuun testiin ja katsoa, kuinka paljon esiväsytyks heikentää aikaa (Martikainen 2018, 141). Friel (2009, 54–55) esittelee sen sijaan käytännönläheisemmän tavan mitata rasituksensietoa. Hänen menetelmässään verrataan aerobisella kynnysellä tapahtuvan kuormituksen ensimmäisen ja toisen puolikkaan tehoa suhteessa sykkeeseen. Tämä tapahtuu jakamalla näiden erotus ensimmäisen puolikkaan teho–syke -suhteella. Suurempi tulos tarkoittaa suurempaa sykkeen nousua suhteessa tehoon, eli heikompaa rasituksensietoa kyseisellä teholla (Friel 2009, 54–55). Se, että valmentajat ovat kokeneet tarpeelliseksi ottaa rasituksensietoa kuvaavia testejä valmennuksen tueksi, kertoo omalta osaltaan tämän ilmiön ymmärtämisen käytännön merkityksestä.

Tieto rasituksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välisen yhteyden olemassaolosta, antaa meille tietoa siitä, voidaanko jo urheilijan maksimaalisesta hapenottokyvystä päätellä jotain hänen harjoitustensa todellisesta kuormittavuudesta. Jos yhteyttä ei ole, saatetaan tämän selvittämiseen tarvita erillinen testi, jossa mitataan urheilijan rasituksensietoa. Jos rasituksensiedolla ja maksimaalisella hapenottokyvyllä ei ole yhteyttä keskenään, on myös syytä pohtia tulisiko rasituksensietoa käsitellä itsenäisenä kestävyysuorituskykyyn vaikuttavana tekijänä.

2 MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY

Maksimaalisella hapenottokyvyllä ($VO_2\text{max}$) kuvataan, kuinka paljon happea pystytään tehokkaimmillaan ottamaan kehoon ja hyödyntämään sitä kuormituksen aikana. Maksimaalinen hapenottokyky määrittää fysiologisen ylärajan kehon kyvyille kuluttaa happea. (Bassett & Howley 2000) Huippu-urheilijoilla $VO_2\text{max}$ onkin yksi suorituskykyä määrittävä tekijä, mutta ei ainoa. Maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi myös anaerobisen ja aerobisen kynnystehon sekä taloudellisuuden, on todettu olevan merkittävimpiä kestävyysuorituskykyä määrittäviä tekijöitä (Jones & Carter 2000).

2.1 Maksimaalista hapenottokykyä määrittävät ja rajoittavat tekijät

Maksimaalista hapenottokykyä määrittävät ja rajoittavat monet eri fysiologiset tekijät. Tärkeimpiä fysiologisia tekijöitä ovat keuhkotuuletus, veren hemoglobiinikonsentraatio, veren tilavuus, sydämen minuuttitilavuus, perifeerinen verenkierto sekä solutason aineenvaihduntakapasiteetti. (McArdle ym. 2015, 166) Nämä tekijät voidaan jakaa sentraalisiin ja perifeerisiin tekijöihin. Sentraalisiin tekijöihin voidaan laskea sydämen minuuttitilavuus, veren kyky kuljettaa happea sekä keuhkojen diffuusiokapasiteetti ja perifeerisiin tekijöihin lihaksiin liittyvät rajoittavat tekijät. (Bassett & Howley 2000)

Perifeeriset tekijät eivät yleensä ole maksimaalista hapenottokykyä rajoittavia, eli lihasten kyky käyttää happea ei useinkaan tule esteeksi (Bassett & Howley 2000). Tätä päätelmää tukee se, että yksilöiden mitokondrioiden entsyymien määrässä voi olla suurta vaihtelua, vaikka heidän maksimaalinen hapenottokykynsä olisi lähes sama (Holloszy 1973). Maksimaalista hapenottokykyä rajoittaa siis pääasiassa hapen toimittaminen ilmakehästä lihaksille. Näistä sentraalisista tekijöistä keuhkojen diffuusiokapasiteetti voi olla rajoittavana tekijänä yleensä vain paljon harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla (Powers ym. 1989). Lihasten rooli maksimaalisessa hapenottokyvyssä ei ole kuitenkaan olematon, sillä hitaiden lihassolujen prosentuaalisen määrän on todettu olevan positiivisesti yhteydessä maksimaaliseen hapenottokykyyn (Ivy ym. 1980). Iso osa maksimaalista hapenottokykyä rajoittavista tekijöistä liittyy kuitenkin sydämen minuuttitilavuuteen ja varsinkin veren volyymin lisääntyminen lisää todistetusti veren hapenkuljetuskapasiteettia, joka nostaa maksimaalista hapenottokykyä (Bassett & Howley 2000).

Maksimaalisen hapenottokyvyn on todettu olevan perinnöllistä ja sitä määrittää sekä geenit että ympäristötekijät (Bouchard ym. 1998). Perinnöllisyyden osuuden on todettu olevan keskimäärin jopa 72 prosenttia, kun maksimaalinen hapenottokyky suhteutetaan kehonpainoon (Schutte ym. 2016). Harjoittelemattomilla maksimaaliseen hapenottokykyyn on todettu vaikuttavan ainakin sukupuoli, pituus, paino, fyysinen aktiivisuus sekä tupakointi (Hulkkonen ym. 2014). Ikääntymisen myötä maksimaalinen hapenottokyky laskee johtuen lähinnä laskevasta maksimisykkeestä, joka vaikuttaa sydämen minuuttitilavuuteen (Carrick-Ranson ym. 2013). Maksimaalisen hapenottokyvyn on todettu olevan 30–47 -vuotiailla suomalaisilla keskiarvoltaan naisilla 26,5 ml/min/kg ja miehillä 35 ml/min/kg (Hulkkonen ym. 2014). VO₂max kuitenkin vaihtelee yksilöiden välillä ja se voi olla harjoittelemattomillakin luontaisesti korkea, jopa 65 ml/min/kg (Martino ym. 2002). Huippu-urheilijoilla on mitattu, jopa 80 ml/min/kg yläpuolella olevia maksimaalisen hapenottokyvyn arvoja (Costill ym. 1976). Tästä päästäänkin siihen, millaisella harjoittelulla ja millaisten mekanismien kautta maksimaalista hapenottokykyä voidaan kehittää.

2.2 Harjoittelu ja maksimaalinen hapenottokyky

Maksimaalista hapenottokykyä voidaan kehittää kestävyysharjoittelulla, joka voi parantaa hapen kuljetusta ja hyödyntämistä. Hapen kuljettaminen kehittyy minuuttitilavuutta ja veren hapenkuljetuskapasiteettia kasvattamalla, kun taas hapen hyödyntäminen kehittyy hiusverisuonten ja mitokondrioiden määrän kasvun myötä (Lundby ym. 2017). Sydämen minuuttitilavuutta kehittämällä voidaan saada parannuksia maksimaalisessa hapenottokyvyssä. Suurempi sydämen minuuttitilavuus johtuu kasvaneesta iskutilavuudesta, sillä maksimisykkeen ei ole huomattu nousevan harjoittelun myötä. (Astorino ym. 2016) Veren hapenkuljetuskapasiteettia parantaa lisääntyneen verivolyymin lisäksi lisääntynyt veren hemoglobiinimassa, mikä nostaa maksimaalista hapenottokykyä (Kanstrup & Ekblom 1984). Lisäksi suurempi veren ja plasman volyymi vaikuttaa iskutilavuuteen, jonka kasvun myötä minuuttitilavuus ja sitä kautta maksimaalinen hapenottokyky voivat kasvaa (Hagberg ym. 1998).

Korkeaintensiteettisen aerobisen intervalliharjoittelun ja matalampitehoisen kestävyysharjoittelun on todettu kehittävän maksimaalista hapenottokykyä tehokkaasti. Näistä kahdesta korkeatehoisen intervalliharjoittelu kehittää sitä keskimäärin hieman tehokkaammin, vaikka tutkimusten välillä onkin ollut eroavaisuuksia. (Milanović ym. 2015) Warburtonin ym. (2004)

tutkimuksessa 12 viikon intervalliharjoittelu kasvatti harjoittelemattomien maksimaalista hapenottoa keskimäärin 21 prosenttia ja matalatehoinen yhtäjaksoinen kestävyys harjoittelu 23 prosenttia. Kohtalaisen suuriakin muutoksia voidaan siis saada aikaan oikeanlaisella harjoittelulla.

On myös huomattu, että matalatehoinen harjoittelun seurauksena maksimaalinen hapenotto voi pysyä muuttumattomana, vaikka muissa aerobiseen suoritukseen vaikuttavissa fysiologisissa tekijöissä, kuten mitokondrioiden entsyymeissä tapahtuisikin muutosta (Bassett & Howley 2000). Vaikka maksimaalinen hapenotto vaikuttaa osaltaan kestävyys suorituskykyyn, ei kestävyys suorituskyvyn ja maksimaalisen hapenotto kyvyn kehittymisen välillä ole välttämättä aina yhteyttä (Vollaard ym. 2009).

3 VÄSYMINEN

Rasituksen aikana kehossa tapahtuu monia ajan myötä ilmaantuvia fysiologisia muutoksia. Maunder ym. (2021) ovat listanneet katsausartikkelissaan tällaisiksi muutoksiksi kehon ja lihasten lämpötilan nousun, sisäisten energianlähteiden ehtymisen, nestetasapainon muuttumisen, hormonitasojen muutokset sekä taloudellisuuden heikentymisen. Tällaisten rasituksessa ilmaantuvien muutosten aiheuttamaa suorituskyvyn laskua kuvataan tässä tekstissä väsymiseksi. Väsymistä pidetään mekanismina, joka pyrkii estämään liikunnan aikaista loukkaantumista tai kuolemaa (Abbiss & Laursen 2005).

3.1 Väsymismekanismit

Väsymistä voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta. Esimerkiksi Abbiss ja Laursen (2005) listaavat mahdollisiksi eri näkökulmiksi biomekaniikan, psykologian ja fysiologian näkökulmat, joita kaikkia käsitellään tässä työssä. Biomekaniikan näkökulmasta voidaan tarkastella lihasten voimantuoton laskua (Millet ym. 2003), psykologian näkökulmasta väsymyksen tunnetta (Kayser 2003) ja fysiologisesti tietyn fysiologisen systeemin heikkenemistä (Green 1997). Seuraavassa on esitelty väsymismekanismia, jotka saattavat vaikuttaa väsymiseen vähintään tunnin kestävässä matalatehoisessa kestävyysuorituksessa.

Sentraalinen väsyminen. Sentraalinen hermosto säätelee pitkää liikuntakuormitusta ja väsymyksen kokemusta kuormituksen aikana (Swart ym. 2009). Aivojen välittäjäaineet dopamiini ja noradrenaliini ovat keskeisessä roolissa sentraalisessa väsymisessä (Connell ym. 2017). On esimerkiksi huomattu, että noradrenaliinin määrän nousu aivoissa osallistuu sentraalisen väsymisen kehittymiseen (Klass ym. 2016). Välittäjäaineiden nousun näkyvät seuraukset ovat muun muassa motivaation lasku ja koetun kuormittavuuden (Rating of Perceived Exertion, RPE) nousu. Ei kuitenkaan vielä tiedetä, millä mekanismeilla aivojen välittäjäaineet vaikuttavat sentraaliseen väsymiseen (Meeusen ym. 2020). Hiilihydraattien nauttimisen suorituksen aikana on huomattu vähentävän koettua kuormitusta pitkäkestoisen kestävyysuorituksen aikana (Nybo 2003). Sentraalinen väsyminen voi olla fyysisen kuormituksen lisäksi seurausta myös mentaalista kuormituksesta, jossa aivojen aineenvaihdunnalla on rooli (Van Cutsem ym. 2020). Mentaalisen väsymisen ei ole huomattu vaikuttavan sykkeeseen tai muihin fysiologisiin tekijöihin. Se voi kuitenkin vaikuttaa koettuun kuormitukseen sekä suorituskykyyn

uupumukseen saakka tehdyssä suorituksessa vaativan kognitiivisen tehtävän jälkeen. (Marcora ym. 2009) Pitkään kestävässä matalatehoisessa suorituksessa ärsykkeet ovat vähissä, joten mentaalista väsymistä saattaa tapahtua. RPE:n nousun on todettu olevan yhteydessä sykkeen nousuun laktaattikynnyksellä tapahtuvassa tunnin kestoisessa pyöräilykuormituksessa (Green ym., 2005). Tästä voidaan päätellä sykkeen kykenevän kuvaamaan sentraalista väsymistä kuormituksen aikana.

Central governor -malli. Central Governor -malli esittää, että aivoissa ja keskushermostossa ei tapahdu vain sentraalista väsymistä, vaan ne itse asiassa säätelevät kaikkia kehossa tapahtuvia väsymisreaktioita. Tämän mallin mukaan aivojen säädellässä liikkumista, havainnoivat ne jatkuvasti myös kehon reaktioita kuormitukseen ja tarvittaessa puuttuvat tilanteeseen vähentäen työskentelevien lihasten motoristen yksiköiden aktivointia. Tämä tapahtuu silloin, kun kuormitus uhkaa kasvaa niin suureksi, että se voisi järkyttää kehon tasapainotilaa. (Noakes 2011) On kuitenkin esitetty, että tämä malli ei keskittyisi pelkästään väsymiseen. Tämän ajatuksen mukaan malli käsittelee laajemmin urheilusuorituksessa jaksamista, jossa väsyminen on vain yhtenä vaikuttavana komponenttina. (Weir ym. 2006) Aivot ovat siis oleellinen osa väsymisen vaikutuksessa urheilusuoritukseen, varsinkin kestävyyslajeissa, vaikka niiden todellisesta roolista ei olekaan varmaa tietoa.

Metabolinen väsyminen. Matalatehoisen kestävyyskuormituksen jatkuessa 1–2 tuntia rasvojen käyttö energiantuotossa lisääntyy hieman ja hiilihydraattien käyttö vähenee (Coyle 2000). Suuremmat muutokset energia-aineenvaihdunnassa tapahtuvat kuitenkin glukoosin hyödyntämisessä. Suorituksen aikana veren glukoosin käyttö lisääntyy ja lihasten glykogeenivarastojen hyödyntäminen vähenee (Coyle 2000). Kuormituksessa kehon glukoosipitoisuus laskee, jos hiilihydraatteja ei nautita tarpeeksi ennen suoritusta tai suorituksen aikana, suhteessa suorituksen intensiteettiin ja keston. Tästä seuraisi suorituskyvyn lasku ja lopulta uupuminen. (Coyle ym. 1986) Nauttimalla hiilihydraatteja suorituksen aikana, voidaan veren glukoosipitoisuutta ylläpitää ja jatkaa hiilihydraattien hyödyntämistä energiantuotossa, mikä lykkää uupumusta (Coggan & Coyle 1991). Kestävyysharjoittelulla voidaan rasvojen hyödyntämistä energianlähteenä kuormituksen aikana tehostaa sekä hidastaa hiilihydraattien kulutusta energiaksi (Holloszy & Coyle 1984). Näin veren glukoosipitoisuus saattaa säilyä pidempään riittävänä.

Biomekaaninen väsyminen. Pitkään kestävä dynaaminen kestävyyskuormitus vähentää merkittävästi yksilön voimantuottokykyä (Lepers ym. 2000). Voimantuottokyvyn laskuun on huomattu riittävän jopa vain 35 % teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä tapahtuva kuormitus, joka kesti 150 minuuttia (Abernethy 1993). Voimantuottokyvyn laskua on huomattu tapahtuvan niin isometrisessä, kuin eksentrisessä ja konsentrisessäkin lihastyössä (Sahlin & Seger 1995). Taulukossa 1 on esitetty eri tutkimusasetelmissä havaittuja isometrisen voimantuoton muutoksia. Kuten taulukosta 1 huomataan, vaikuttaa voimantuoton heikkenemisen suuruuteen moni asia, kuten kuormituksen intensiteetti, kesto sekä koehenkilöiden harjoittelustausta ja sukupuoli. Neuraalisen aktiivisuuden on huomattu vähentyneen ja aktiopotentiaalinen keston kasvaneen työskentelevissä lihaksissa pitkään kestäneen kestävyyskuormituksen jälkeen (Lepers ym. 2000). Hiilihydraattien nauttimisen suorituksen aikana on huomattu vähentävän voimantuottokyvyn laskua pitkään kestäneen kestävyyskuormituksen seurauksena (Nybo 2003). Lihäsväsymyksen itsessään on todettu nostavan sykettä irrallaan metabolisesta väsymisestä (Marcora ym. 2008).

TAULUKKO 1. Eri tutkimusasetelmissä mitatut isometrisen voimantuoton muutokset pitkään kestäneen polkupyöräkuormituksen seurauksena. VT, ventilaatiokynnys.

Tutkimus	Koehenkilöt	n	Kuormituksen kesto	Kuormituksen intensiteetti (%VO ₂ max)	Voimantuoton testi	Isometrisen voimantuoton muutos (%)
(Sahlin & Seger 1995)	Fyysisesti aktiivisia miehiä	7	Uupumukseen asti	75	Polven ojennus 90°	-34
(Lepers ym. 2000)	Miespuolisia urheilijoita	8	120 min	60	Polven ojennus 60°	-13
(Glance ym. 2013)	Miespuolisia urheilijoita	11	120 min*	65–70 (VT)	polven ojennus 60°	-22,4
(Glance ym. 2013)	Naispuolisia urheilijoita	9	120 min*	65–70 (VT)	Polven ojennus 60°	-15,8
(Vallier ym. 2005)	Miespuolisia urheilijoita	8	180 min	60	polven ojennus 90°	-16

*Kuormituksen aikana 5x1 min pyrähdykset ja jälkeen 3 km aika-ajo ennen isometristä maksimivoimatestiä.

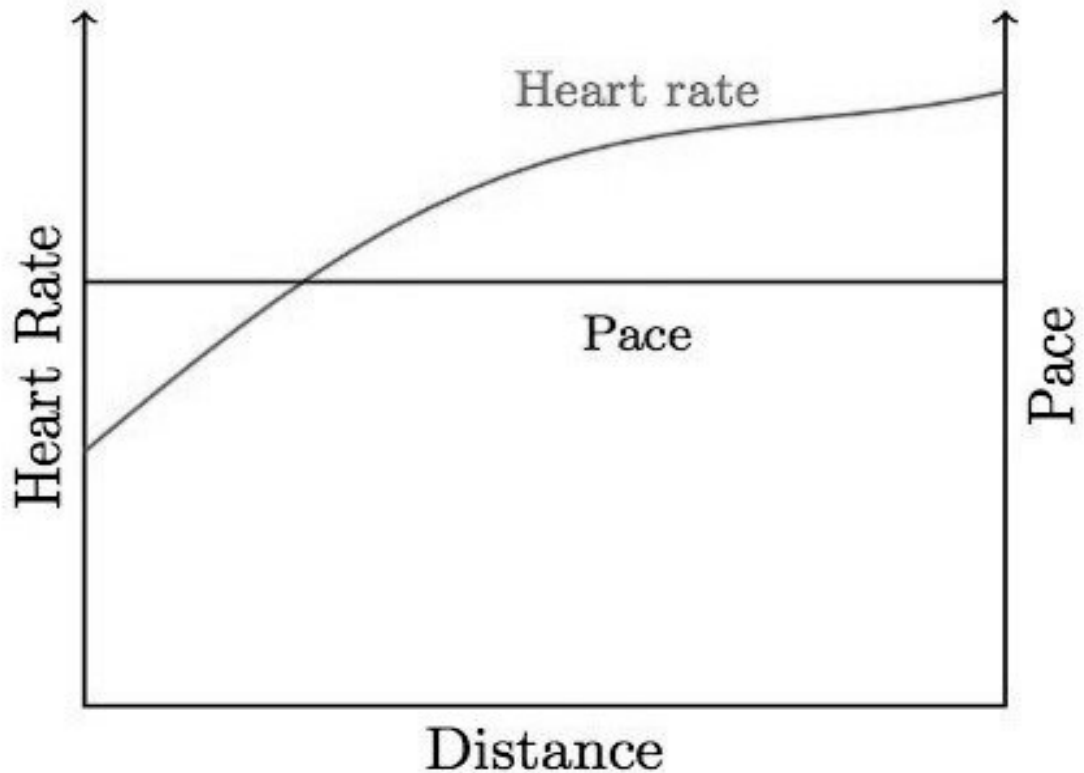
3.2 Miesten ja naisten väliset erot väsymisessä

Miehillä pitkäkestoisen kestävyyskuormituksen on huomattu aiheuttavan sekä perifeeristä että sentraalista väsymistä. Naisilla sen sijaan väsymyksen on huomattu olevan enemmän sentraalista. Väsymyksen erilaisesta luonteesta huolimatta, kokonaisväsymys on miehillä ja naisilla ollut samansuuruista. (Glace ym. 2013) Samassa Glacen ym. (2013) tutkimuksessa naiset ja miehet eivät eronneet keskenään energianlähteiden hyödyntämisessä.

Glacen ym. (1998) tutkimuksessa 2 tunnin juoksu ventilaatiokynnyksellä heikensi sekä miesten, että naisten voimantuottoa lonkkanivelen koukistuksessa, loitonnuksessa ja lähenyksessä, mutta polvinivelen koukistuksessa ja ojennuksessa vain miehillä. Miesten ja naisten välillä saattaa siis olla eroavaisuuksia väsymyksen synnyssä.

3.3 Sykkeen ajautuminen

Kuormituksen alkaessa sydämen syke ja iskutilavuus nousevat nostaen sydämen minuuttitilavuutta, jonka jälkeen syke ja iskutilavuus tasaantuvat submaksimaalisessa kuormituksessa (Fulghum & Hill 2018). Sykkeen ajautumiseksi (cardiovascular drift) kutsutaan ilmiötä, jossa syke nousee ja iskutilavuus laskee kestävyysuorituksen edetessä, kun suoritus on kestänyt yli 5 – 10 minuuttia. (Coyle 1998). Kuvassa 1 on esitetty esimerkki siitä, miten sykkeen ajautuminen näkyy juoksuuorituksessa, kun juoksuvauhti pysyy tasaisena. Monissa tutkimuksissa sykkeen ajautumisen esiintymistä on tutkittu 45 minuutin kuormituksessa seuraamalla sykkeen ja iskutilavuuden muutosta 15 ja 45 minuutin välillä (Ng ym. 2019; Wingo ym. 2012; Wingo ym. 2020). Iskutilavuus voi kuitenkin laskea ja syke nousta vielä merkittävästi 45 minuutin jälkeen (Nassis & Geladas 2002).



KUVA 1. Sykkeen ajautumisen (cardiovascular drift) esiintyminen juoksuosuorituksen aikana, kun juoksuvohti pysyy vakiona. (Maffetone 2016)

Sykkeen ajautumisen aiheuttajiksi on esitetty kasvaneita intensiteettiä ja ympäristön lämpöstressiä, nestevajetta, matalaa kuntotasoja sekä huonoa akklimatisoitumista lämpöön. Nämä tekijät saattavat myös olla yhteydessä toisiinsa. (Coyle 1998) On myös esitetty, että ihon verenkierron vilkastuminen aiheuttaisi iskutilavuuden laskun ja sitä kautta sykkeen nousun kuormituksen aikana (Rowell 1993, 229–230). Tämä teoria on kuitenkin myöhemmin haastettu vähäisen näytön (Coyle 1998) sekä vastakkaisten tutkimustulosten takia (Coyle & Gonzalez-Alonso 2001). Coyle ja Gonzalez-Alonso (2001) ovat esittäneet vaihtoehdoisen teorian, jonka mukaan iskutilavuuden lasku seuraa sykkeen noususta. Tutkimuksissa on osoitettu että tämä voisi tapahtua kammioiden täyttymisajan lyhentymisen (Turkevich ym. 1988) ja kammioiden tyhjentymisen tehostumisen kautta (Seals ym. 1988). Fritzschen ym. (1999) tutkimuksessa iskutilavuus ei laskenut kuormituksen aikana, kun sykkeen nousu estettiin keinotekoisesti, vaikka muut mitatut tekijät, joiden on esitetty aiheuttavan iskutilavuuden laskun, olivat placebo-ryhmässä samanlaiset.

Sykkeen nousun on esitetty johtuvan sympaattisen aktiivisuuden lisääntymisestä ja kehon lämpötilan noususta eli yllilämpöisyydestä (Coyle 1998). Nestevaje on yksi tekijä, joka johtaa kehon yllilämpöön ja sydämen minuuttitilavuuden laskuun (Lafrenz ym. 2008). Suorituksen aikaisen nestevajeen ollessa 3–5 prosenttia kehonpainosta, veren volyymi vähenee saman verran ja suurin osa tästä lähtee plasmasta (Coyle 1998). Kun kuormituksen pituutta lyhennetään tai kuormituksen aikana nautitaan tarpeeksi nesteitä, ei sykkeen ajautumista enää esiinny (Ganio ym. 2006). Kuormituksen suorittaminen viileässä aiheuttaa merkittävästi pienemmät reaktiot sykkeessä ja iskutilavuudessa, kuin kuumassa suoritettu kuormitus (Lafrenz ym. 2008). Myös jäähieltä kuormituksen aikana nauttimalla voidaan lieventää sykkeen ajautumista (Ng ym. 2019). Nesteytyksen tapaan myös glukoosin infuusion on todettu aiheuttavan sykkeen ajautumisen lieventymistä, jonka on esitetty johtuvan mahdollisesti maksan aineenvaihdunnan lisääntymisestä (Hamilton ym. 1991). Väsymisen lieventyminen saattaisi olla myös yksi tekijä, jonka kautta glukoosin infuusio vaikuttaa sykkeen ajautumisen lieventymiseen.

Kuormituksen seurauksena tapahtuvan maksimaalisen hapenottokyvyn laskun on todettu olevan yhteydessä sykkeen ajautumiseen, kun rasitus tehdään lämpimässä ympäristössä. Kun maksimaalinen hapenottokyky laskee kuormituksen seurauksena, nousee kuormituksen maksimaaliseen hapenottokykyyn suhteutettu intensiteetti, vaikka absoluuttinen intensiteetti pysyisikin samana. (Wingo ym. 2005) Sama yhteys on todettu myös pitkässä kuormituksessa (Wingo ym. 2020). Lisäksi on huomattu, että samat mekanismit vaikuttavat sekä kuormituksesta johtuvan maksimaalisen hapenottokyvyn laskuun että sykkeen ajautumiseen (Ganio ym. 2006). On myös tehty päätelmiä, että sykkeen ajautuminen ei johtuisi sydänlihaksen väsymisestä liikunnan seurauksena (Dawson ym. 2005).

On siis olemassa hyvin monta erilaista teoriaa siitä, mikä tai mitkä mekanismit ovat sykkeen ajautumisen taustalla. Tämän työn kannalta on oleellista Maunderin ym. (2021) esittämä kysymys, johtuuko tasatehoisen suorituksen aikainen sykkeen nousu suhteellisen intensiteetin kasvamisesta eli väsymisestä vai onko kyseessä harmiton reaktio. Tähän kysymykseen ei ole vielä pystytty antamaan selviä vastauksia. Tämä on oleellista, jotta muun muassa tiedetään, voidaanko sykettä käyttää seuraavassa kappaleessa esitettävän rasituksensiedon arviointiin. Tässä työssä oletetaan, että kun pitkä kestävyyskuormitus tehdään normaalissa lämpötilassa ja suorituksen aikana nautitaan nestettä ja hiilihydraatteja, voidaan sykkeen nousun perusteella todennäköisesti päätellä jotain kuormituksen aikaisesta väsymisestä. Tätä yhteyttä pyritään myös perustelemaan vertaamalla sykereaktion ja koetun kuormituksen yhteyttä.

4 RASITUKSENSIETO

Maunder ym. (2021) ovat esitelleet termin durability, jolla tarkoitetaan urheilijan kykyä ylläpitää tiettyä suhteellista tehoa pitkässä kuormituksessa. Tässä työssä durabilitystä käytetään termiä rasituksensieto, joka pyrkii kuvaamaan ajatusta termin takana mahdollisimman hyvin. Rasituksensiedon määrittämisen tarpeellisuus perustuu fysiologisen tasapainotilan puuttumiseen matalallakin suoritusteholla. Lisäksi rasituksensieto voi kehittyä irrallaan kynnystehojen kehittymisestä, vaikka tarkasteltava kuormitus tehtäisiin kynnysteholla. (Maunder ym. 2021)

4.1 Rasituksensiedon merkitys

Rasituksensietoa määritellään väsymiseen liitettävien fysiologisten suureiden muuttumisen alkamisajankohtana ja suuruutena. Fysiologisten suureiden muuttumisen testaamiseen kuormituksen aikana ei ole kuitenkaan olemassa standardoituja menetelmiä, eikä rasituksensiedon merkityksestä kestävyysuorituskykyyn ole juurikaan tutkittu. Rasituksensiedon osoittaminen riippumatomaksi kolmesta kestävyysuorituskykyyn liitetystä tekijästä eli maksimaalisesta hapenottokyvystä, taloudellisuudesta sekä kynnysominaisuuksista, antaisi syyn pohtia rasituksensietoa itsenäisenä kestävyysuorituskykyyn vaikuttavana tekijänä näiden kolmen rinnalla. Valmennuksellisesti rasituksensiedon ymmärtämisestä olisi hyötyä yksittäisen urheilijan pitkien harjoitusten intensiteetin säätelyn, harjoituskuorman monitoroinnin ja ohjelmoinnin sekä suorituskyvyn arvioinnin tarkkuuden lisäämisessä. Yksilöiden väliset erot rasituksensiedossa sen sijaan voisi selittää eroja myös harjoituskuormituksen siedossa. (Maunder ym. 2021) Kun tiedetään paremmin, mitkä tekijät ovat yhteydessä rasituksensietoon, voidaan yksilöllisten ominaisuuksien kautta suunnitella harjoittelua paremmin yksilöllisten rasituksensieto-ominaisuuksien kautta.

Maunder ym. (2021) esittävät rasituksensiedon tarkasteluun menetelmäksi sykkeen nousun seuranta suhteessa käytettyyn tehoon, sillä näin saadaan vertailtua ulkoisen ja sisäisen työn suhdetta. Tehon ollessa vakioitu, voidaan tarkastella pelkästään sykkeen nousua. Suhteuttamalla sykkeen nousu sykereserviin, pystytään yksilölliset vaihtelut lepo- ja maksimisykkeessä ottamaan huomioon. Maunder ym. (2021) osoittivat myös tekemillään tutkimuksilla, että sykereaktioissa suhteessa tehoon on eroa yksilöiden välillä, eli rasituksensieto ei ole kaikilla

yksilöillä samanlaista. Joissain tapauksissa sama syke voi kuvata yksilötasolla eri suhteellista intensiteettiä (Mattsson ym. 2011). Intervalliharjoitusta tehtäessä sykkeen ja koetun kuormituksen on todettu olevan toisistaan riippumattomia (Fusco ym. 2020), mutta yhtäjaksoisessa kuormituksessa näiden välillä on todettu olevan yhteys tunnin kestoisessa kuormituksessa laktaattikynnyksellä (Green ym. 2005).

4.2 Rasituksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välinen yhteys

Paremmen maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla on samalla syketasolla todettu olevan suurempi iskutilavuus, lyhyempi aika kammion depolarisaation ja supistumisen välillä sekä pidempi kammion supistumisaika (Wolfe ym. 1978). Jos maksimaalisen hapenottokyvyn ja rasituksensiedon välillä on yhteyttä, voitaisiin päätellä, että nämä tai jotkin muut hapenottokyvyn vaikuttavat tekijät vaikuttavat myös rasituksensietoon.

Aikaisemmat tutkimukset eivät ole kuitenkaan tukeneet rasituksensiedon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välistä yhteyttä, kuten seuraavat esimerkit osoittavat. Maksimaalisen hapenottokyvyn ja sykkeen nousun välillä ei ollut yhteyttä 4 tunnin kestoisessa polkupyöräergometrikuormituksessa, joka tehtiin 5 prosenttia laktaattikynnyksen intensiteettiä pienemmällä intensiteetillä (Dawson ym. 2005). Samassa tutkimuksessa huomattiin, että paremman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla kuormitus aiheutti kuitenkin hieman suurempaa heikkenemistä sydämen diastolisessa toiminnassa. Coylen ym. (1988) tutkimuksessa on lisäksi huomattu, että korkealla teholla (88 prosenttia maksimaalisesta hapenottokyvystä) tehdyssä kuormituksessa lähes saman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla, voi olla eroja uupumusajankohdassa. Myöskään lihasväsymykseen vaikuttavilla tekijöillä ei näyttäisi olevan yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn (Morris ym. 2008).

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Onko pitkän matalatehoisen peruskestävyyskuormituksen aikaisella sykereserviin suhteutetulla sykkeen muutoksella yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn?

Hypoteesi: Ei ole yhteyttä.

Perustelu: Tutkimuksissa on osoitettu, että hapenottokyvyn ja sykkeen nousun välillä ei ole ollut yhteyttä (Dawson ym. 2005), saman maksimaalisen hapenottokyvyn omaavilla voi olla eroja uupumusajankodassa (Coyle ym. 1988) ja että lihasväsymykseen vaikuttavilla tekijöillä ei ole yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn (Morris ym. 2008). Näissä tutkimuksissa pitkäkestoinen kuormitus on tehty eri kuormitustehoilla, kuin tässä tutkielmassa. Kyseiset tulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että myöskään tämän tutkielman kuormitusteholla hapenottokyvyllä ja rasiuksensiedolla ei olisi yhteyttä.

Onko sykereserviin suhteutetulla sykkeen muutoksella ja RPE:n muutoksella yhteyttä pitkäkestoisessa matalatehoisessa peruskestävyyskuormituksessa?

Hypoteesi: On positiivinen yhteys.

Perustelu: RPE:n nousun on todettu olevan yhteydessä sykkeen nousuun laktaattikynnyksellä tapahtuvassa tunnin kestoisessa pyöräilykuormituksessa (Green ym., 2005). Tässä tutkielmassa kuormitus on pidempi ja kuormitusteho matalampi, mutta RPE:n ja sykkeen välillä oletetaan olevan yhteyttä tässäkin tutkielmassa.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkielma tehtiin osana väitöskirjatutkija Pekka Matomäen tutkimusprojektia ”*Mitä korkea- (High Intensity Training, HIT) ja matalatehoinen (Low Intensity Training, LIT) harjoittelu tekee harjoittajalleen?*”. Tämä tutkielma koostuu kyseisen tutkimusprojektin alkutesteissä suoritetuista peruskestävyystestistä ja kynnystestistä. Kaikki koehenkilöt antoivat suostumuksensa tutkimukseen osallistumiseen ja tutkimus hyväksyttiin Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettisessä lautakunnassa.

6.1 Tutkittavat

Tutkittaviksi rekrytoitiin harjoittelemattomia terveitä koehenkilöitä. Rekrytointiin oli tietyt kriteerit ja nämä kriteerit on esitetty taulukossa 2. Lisäksi lääkäri arvioi jokaisen koehenkilön lepo-EKG:n, verenpaineen ja terveystarkastuslomakkeen ennen suorituskykytestejä. Tutkielman mittauksiin osallistui 26 naista ja 18 miestä (n = 44) ja he olivat iältään 19–40-vuotiaita.

Taulukko 2. Koehenkilöitä rekrytoitaessa käytetyt kriteerit.

Rekrytointikriteerit

Ei säännöllistä raskautta tai imetystä aloitushetkellä

Ei tunnettuja kroonisia sairauksia (diabetes, sydän- ja verisuonisairaudet)

Ei säännöllistä lääkitystä

Ei ylähengitystieinfektioita, kuumetta (yli 37 °C) tai muuta akuuttia sairautta kahden viikon ajalta

Ei korkeaa verenpainetta (suurempi kuin 140/90 mmHg)

Ei yli 6 h/viikko kestävyysharjoittelua viimeiseltä puolelta vuodelta

Ei systemaattista kestävyysharjoittelua viimeiseltä puolelta vuodelta (=säännöllinen kestävyysvalmentautumisohjelman seuraaminen)

Tarvittaessa polkupyörä käytössä harjoittelua varten

6.2 Tutkimusasetelma

Koehenkilöt suorittivat kahtena erillisenä päivänä suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin sekä kolmen tunnin peruskestävyystestin niin, että testien välillä oli vähintään 24 tuntia. Molemmat testit suoritettiin pyöräillen polkupyöräergometrilla (Monark LC4, Monark Exercise AB, Vansbro, Ruotsi). Ennen testejä koehenkilöiltä mitattiin pituus ja paino. Koehenkilöt saivat käyttää kummassakin testissä lukkopolkimia, jos heiltä löytyi niiden käyttöön soveltuvat kengät. Ennen testejä jokaiselle koehenkilölle valittiin sopiva satulan ja tangon korkeus. Kolmen tunnin peruskestävyystestissä he saivat halutessaan käyttää geelipehmustetta satulassa. Ennen peruskestävyystestiä koehenkilöiden sykettä kerättiin 5 minuuttia, kun he istuivat hiljaa paikallaan tuolilla. Koehenkilöiden paino mitattiin ennen ja jälkeen kolmen tunnin peruskestävyystestin. Hengityskaasuanalysointilaitteisto (Vyntus cpx metabolic cart, Vyoaire Medical Inc, Mettawa, Illinois, Yhdysvallat.) kalibroitiin aina ennen kumpaakin testiä ja mittausprotokolla käytiin läpi koehenkilöiden kanssa.

6.2.1 Maksimaalisen hapenottokyvyn testi

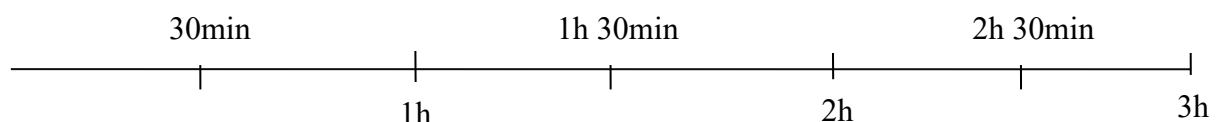
Ennen testin alkua koehenkilöiltä mitattiin veren laktaattipitoisuus lepotilassa. Koehenkilöt lämmittelivät 10 minuuttia kevyellä 40–50 W teholla. Lämmittelyn jälkeen koehenkilöt suorittivat 15 sekunnin maksimaalisen polkupyöräergometritestin, jonka tuloksia hyödynnettiin tutkimusprojektin muissa vaiheissa, mutta ei tässä tutkielmassa. Maksimaalisen hapenottokyvyn testi aloitettiin tasan 35 minuutin kuluttua 15 sekunnin testin päättymisestä. Ennen testin alkua koehenkilöiltä kysyttiin vielä RPE ja otettiin laktaattinäyte sormenpäältä. Testi aloitettiin naisilla 40 W ja miehillä 50 W kuormalla. Kuormaa nostettiin kolmen minuutin välein naisilla 20 tai 25 W ja miehillä 30 W. Jokaisen kuorman lopussa koehenkilöiltä kysyttiin RPE. Testi suoritettiin uupumukseen asti ja testi lopetettiin koehenkilön niin päättäessä, tai kun hän ei enää kyennyt pitämään kadenssia määrätyllä 60 rpm tasolla.

Testistä kerättiin koehenkilöiden maksimaalinen hapenottokyky, maksimisyke sekä määritettiin aerobinen kynnys ja määrättiin tätä vastaava hapenkulutus. Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin testin suurimman yhden minuutin yhtämittaisen hapenkulutuksen mukaan. Aerobinen kynnys määritettiin vanhan suomalaisen määritystavan mukaisesti laktaatin ensimmäi-

seen nousukohtaan perustasosta (Nummela 2007, 66). Myös teho aerobisella kynnyksellä, eli aerobinen kynnysteho, kirjattiin ylös.

6.2.2 Kolmen tunnin peruskestävyystesti.

Kolmen tunnin peruskestävyystestin teho määritettiin maksimaalisen hapenottokyvyn testin tulosten perusteella. Määritetyllä teholla hapenkulutus oli noin 50 prosenttia maksimaalisesta hapenkulutuksesta. Tämä tehtiin piirtämällä regressiosuora maksimaalisen hapenottokyvyn testin teholle suhteessa hapenkulutukseen. Regressiosuoralta valittiin kohta, jossa hapenkulutus oli 50 prosenttia maksimaalisesta hapenkulutuksesta ja katsottiin mikä teho vastaa tätä kohtaa. Teho valittiin viiden watin tarkkuudella. Koehenkilöt polkivat tällä teholla kolme tuntia. Testin aikana mitattiin sykettä ja hengityskaasuja 10 minuutin jaksoissa niin, että ensimmäinen mittaus alkoi 20 minuuttia testin alkamisen jälkeen ja seuraava mittaus alkoi aina 20 minuuttia edellisen mittauksen päättymisestä. Koehenkilöille puettiin hengitysilman keräystä varten hengityskaasuanalysointiin kytketty hengityskaasujen keräykseen tarkoitettu maski jokaisen 10 minuutin seurantajakson ajaksi, ja se riisuttiin välittömästi seurantajakson päättymisen jälkeen. Borgin taulukosta sovelletun RPE-taulukon mukaista kuormittuneisuutta asteikolla 0–10 (Borg 1982) kysyttiin aina heti jokaisen mittausjakson jälkeen. Testin aikajana, johon on merkitty sykkeen ja hapenkulutuksen mittausjaksojen päättymisajat eli RPE:n kysymisajat on esitetty kuvassa 2. Laktaattia mitattiin sormenpästä 1, 2 ja 3 tunnin kohdalla. Testin aikana poljentanopeus ja -asento saivat olla vapaavalintaiset, mutta jokaisen puolen tunnin viimeiset 10 minuuttia, kun sykettä ja hapenkulutusta seurattiin, poljintiheys ja asento olivat vakioidut. Koehenkilöt saivat itse päättää vakioidun poljentanopeuden ja -asennon ennen ensimmäistä seurantaa.



KUVA 2. Sykkeen ja hapenkulutuksen 10 minuutin mittausjaksojen päättymisajat eli RPE:n kysymisajat testin alkamisesta kolmen tunnin peruskestävyystestissä.

Peruskestävyydestin aikainen sykkeen muutos laskettiin vähentämällä viimeisen mittausjakson keskiarvosykkeestä ensimmäisen mittausjakson keskiarvosyke. Peruskestävyydestin aikainen RPE:n muutos laskettiin vastaavasti vähentämällä kolmen tunnin kohdalla kysytystä RPE-arvosta 30 minuutin kohdalla kysytty RPE-arvo. Sykkeen muutos suhteutettiin sykkereserviin jakamalla sykkeen muutos sykkereservillä. Kertomalla saadut tulokset 100 prosentilla saadaan ilmaistua sykkeen muutoksen prosentuaalinen osuus sykkereservistä. Sykkeservi laskettiin vähentämällä koehenkilön leposyke hänen maksimisykkeestään. Koehenkilöt saivat nauttia testin aikana haluamansa määrän suolavettä, jossa oli 3 grammaa suolaa per litra vettä. Nautittu suolaveden määrä kirjattiin ylös. Lisäksi koehenkilöiden tuli nauttia heille määrätty määrä hiilihydraattiliuosta 30–60 minuutin, 1–2 tunnin ja 2–3 tunnin välillä.

Nautittavien hiilihydraattien määrä laskettiin testin polkemistehon mukaan. Polkemisteho (P) muutettiin energiankulutukseksi (E), kun hyötysuhteeksi oletettiin 18 prosenttia, ottaen huomioon testissä käytetty matala polkemisteho (Ettema & Lorås 2009). Energiankulutus tunnissa saatiin laskettua kaavalla $E = P \cdot 60 \cdot 60 / (0,18 \cdot 4,2 \cdot 1000)$. Kyseisessä kaavassa hyödynnettiin muuntosuhteita, joiden mukaan 4,2 kJ on 1 kcal ja 1 W on 1000 kJ/s. Kaavan osoittajassa ($P \cdot 60 \cdot 60$) teho (P) on siis muunnettu vastaamaan tunnin suoritusta. Tämä teho jaetaan nimittäjässä ($0,18 \cdot 4,2 \cdot 1000$) olevilla hyötysuhteella (0,18) sekä muuntosuhteilla (4,2 ja 1000), joilla watit saadaan muunnettua kilokaloreiksi. Tavoitteena oli antaa tunnissa sen verran hiilihydraattia, että lasketusta energiankulutuksesta katetaan puolet hiilihydraateista saatavalla energialla. McArdlen ym. (2015, 111) mukaan gramma glukoosia sisältää 3,74 kcal. Tutkimuksessa käytetyssä kaavassa arvioitiin, että 100 g tutkimuksessa nautittua hiilihydraattia sisältäisi 380 kcal. Tunnissa nautittavien hiilihydraattien määrä (HH/h) laskettiin siis kaavalla: $HH/h = (E/2)/380 \cdot 100$. Maksimissaan koehenkilöille annettiin kuitenkin 75 g/h, jotta välttyisiin mahdollisilta imeytymisongelmilta. Annettu hiilihydraatti oli sekoitussokeria, joka sisälsi 50 % maltodekstriiniä, 25 % rypälesokeria ja 25 % hedelmäsokeria.

Nautitun suolaveden ja hiilihydraattiliuoksen sisältävän veden määrä laskettiin yhteen, jotta saatiin tietää, kuinka paljon koehenkilöt nauttivat vettä testin aikana. Testin jälkeen koehenkilöt tekivät vielä 15 sekunnin maksimaalisen polkupyöräergometritestin, jonka jälkeen heidän painonsa mitattiin. Myös tämän 15 sekunnin testin tuloksia hyödynnettiin muissa tutkimusprojektin vaiheissa, mutta ei tässä tutkielmassa.

6.3 Tilastolliset menetelmät

Ennen tilastollisia analyysejä piirrettiin Microsoft Office Excel-sovelluksella sirontakuviot korrelaatioiden tarkastelua varten. Sirontakuviot tehtiin koko aineistolle seuraavista muuttujapareista, joiden korrelaatioista oltiin kiinnostuneita: sykereserviin suhteutettu sykkeen muutos (Sm/SR) – maksimaalinen hapenotto-kyky ($VO_2\max$) sekä Sm/SR – RPE:n muutos. Maksimaalisesta hapenotto-kyvystä käytettiin painoon suhteutettuja arvoja (ml/min/kg) kaikissa testeissä ja kuvioissa.

Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics 28.0-ohjelmalla. Maksimaalisesta hapenotto-kyvyn testistä saatujen maksimaalisen hapenotto-kyvyn arvojen sekä peruskestävyystestin Sm/SR ja RPE:n muutoksen arvojen jakautumien normaalisuus tarkastettiin Shapiro-Wilk testillä. Koko aineistossa $VO_2\max$ in, Sm/SR:n sekä RPE:n muutoksen arvot olivat kaikki normaalijakautuneita. Sm/SR:n ja $VO_2\max$ in sekä Sm/SR ja RPE:n muutoksen välistä korrelaatiota tarkastellessa voitiin siis käyttää Pearsonin korrelaatiota.

Korrelaatiotestit tehtiin erikseen myös miesten ja naisten aineistoille, jotta sukupuolen mahdollinen vaikutus tuloksiin pystyttiin ottamaan huomioon. Miesten aineistossa $VO_2\max$, Sm/SR sekä RPE:n muutos olivat kaikki normaalisti jakautuneita, joten korrelaatioiden tarkasteluun voitiin käyttää Pearsonin korrelaatiota. Naisten aineistossa Sm/SR sekä $VO_2\max$ olivat normaalisti jakautuneita ja RPE:n muutos likimain normaalijakautunut ($P = 0,048$). Sm/SR:n ja $VO_2\max$ in välisen korrelaation tarkasteluun voitiin siis käyttää Pearsonin korrelaatiota. Sm/SR:n sekä RPE:n muutoksen välisen korrelaation tarkasteluun käytettiin myös Pearsonin korrelaatiota, mutta tuloksia verrattiin vielä Spearmanin korrelaatiotestin tuloksiin. Tilastollisen merkitsevyytason rajana käytettiin p-arvoa 0,05.

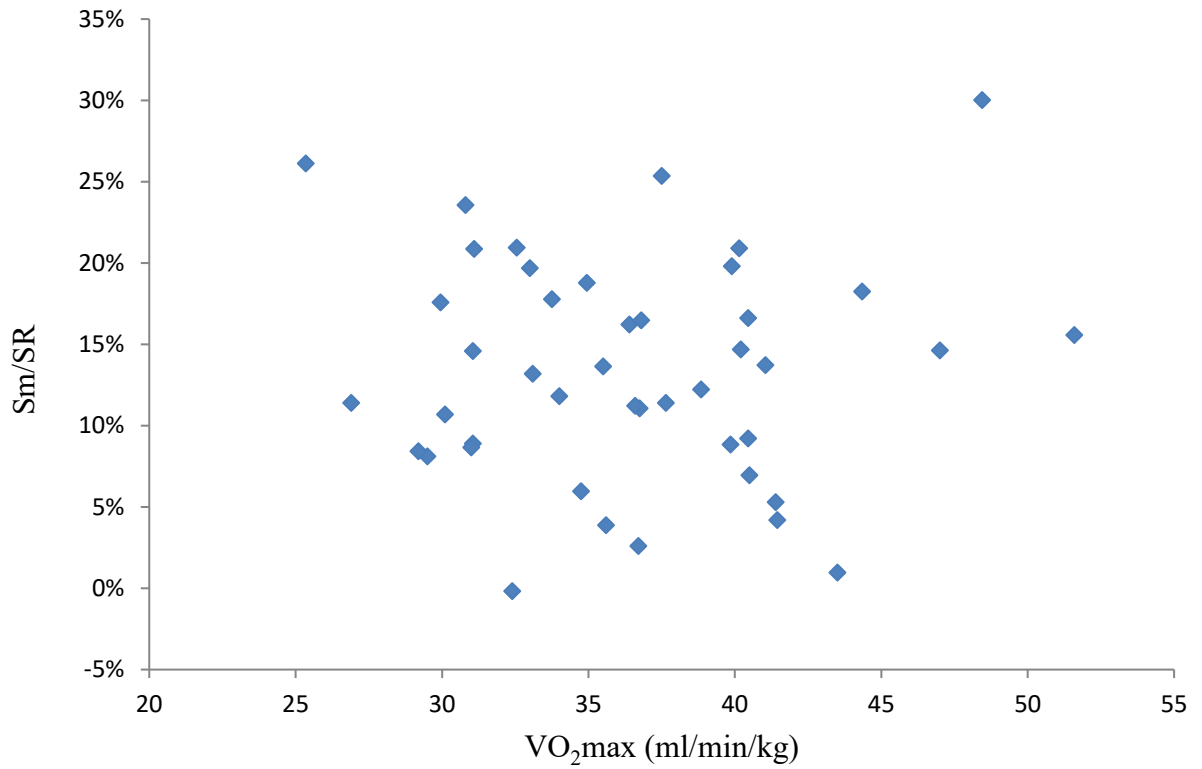
7 TULOKSET

Koehenkilöiden pituudet vaihtelivat 152 cm ja 196 cm välillä ja painot 51,2 kg ja 104,9 kg välillä. Pituuden keskiarvo oli 171,7 (\pm 8,8) cm ja painon keskiarvo oli 77,7 (\pm 14,4) kg. Koehenkilöiden VO₂maxin keskiarvo oli 36,4 (\pm 5,7) ml/min/kg. Sykkeen nousu oli kolmen tunnin testissä keskimääräisesti 13,4 (\pm 6,9) prosenttia sykereservistä ja RPE:n nousu 3,5 (\pm 1,8) yksikköä. VO₂maxin ja Sm/SR:n sekä RPE:n muutoksen keskiarvot, keskihajonnat, pienin arvo ja suurin arvo on esitetty taulukossa 3. Hapenkulutuksen perusteella kolmen tunnin kuormituksen alkuteho oli kaikilla koehenkilöillä joko aerobisella kynnyksellä tai sen alapuolella.

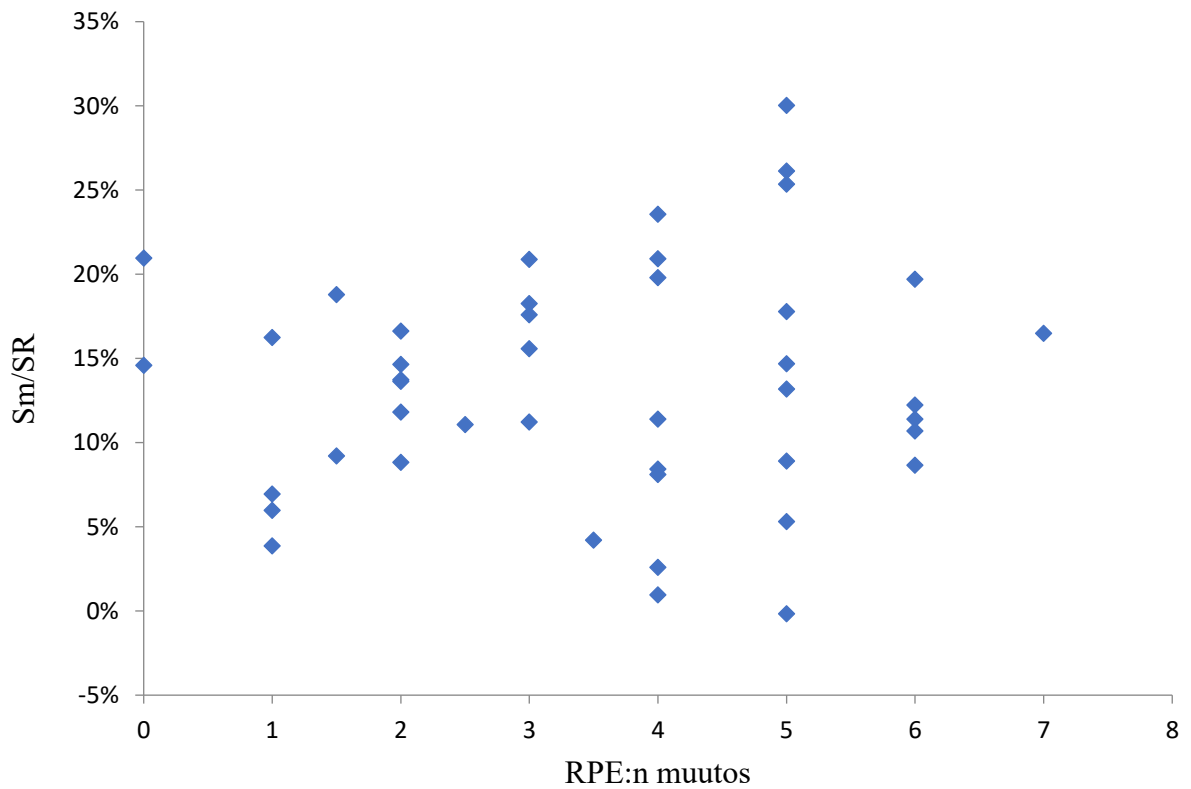
TAULUKKO 3. Maksimaalisen hapenottokyvyn (VO₂max), Koetun kuormituksen (RPE) muutoksen ja sykereserviin suhteutetun sykkeen muutoksen (Sm/SR) keskiarvot, keskihajonnat, pienimmät arvot ja suurimmat arvot koko aineistossa.

	Keskiarvo	Keskihajonta	Pienin arvo	Suurin arvo
VO ₂ max (ml/min/kg)	36,4	5,7	25,4	51,6
RPE:n muutos	3,5	1,8	0,0	7,0
Sm/SR	13,4 %	6,9 %	-0,2 %	30,0 %

Sm/SR:n ja maksimaalisen hapenottokyvyn sirontakuviot on esitetty kuvassa 3 ja Sm/SR:n ja RPE:n sirontakuviot kuvassa 4. Sykereserviin suhteutettu sykkeen muutos kolmen tunnin peruskestävyystestin aikana (Sm/SR) ei korreloi maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa koko aineistossa ($r = 0,013$, $p = 0,935$). Sm/SR ei korreloi myöskään saman testin RPE:n muutoksen kanssa koko aineistossa ($r = 0,056$, $p = 0,719$). Sm/SR ei korreloi maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa silloinkaan, kun miesten ($r = -0,068$, $p = 0,788$) ja naisten ($r = -0,186$, $p = 0,363$) tuloksia tarkastellaan erikseen. Sm/SR ei korreloi myöskään RPE:n muutoksen kanssa, kun miesten ($r = 0,074$, $p = 0,770$) ja naisten (Pearson: $r = 0,058$, $p = 0,778$, Spearman: $r = 0,047$, $p = 0,820$) tuloksia tarkastellaan erikseen.



KUVA 3. Sirontakuvio kaikkien koehenkilöiden hapenottokyvystä (VO₂max) suhteessa syke-
reserviin suhteutettuun sykkeen muutokseen (Sm/SR).



KUVA 4. Sirontakuvio kaikkien koehenkilöiden koetun kuormituksen (RPE) muutoksesta
suhteessa sykereserviin suhteutettuun sykkeen muutokseen (Sm/SR).

8 POHDINTA

Tutkielman tuloksien perusteella VO₂max:lla ei ole yhteyttä matalatehoisen kuormituksen rasituksensietoon, kun käytetään sykereserviin suhteutettua sykkeen muutosta rasituksen kertymisen kuvaajana. Myöskään Sm/SR:n ja RPE:n muutoksen väliltä ei löydetty yhteyttä, joten syke ei välttämättä onnistunut kuvaamaan kuormituksen aikaista kokonaisrasitusta. Tarkasteltaessa miesten ja naisten tuloksia erillään, ei löydetty myöskään korrelaatiota VO₂maxin ja Sm/SR:n eikä Sm/SR:n ja RPE:n muutoksen väliltä.

Tulos VO₂maxin ja rasituksensietoa kuvaavan Sm/SR:n yhteyden puuttumisesta on hypoteesin mukainen ja yhtäläinen aikaisemman korkeammalla intensiteetillä tehdyn tutkimuksen tuloksen kanssa (Dawson ym. 2005). Morrisin ym. (2008) tutkimus, jossa todettiin, että lihasväsymykseen vaikuttavilla tekijöillä ei ollut yhteyttä maksimaaliseen hapenottookykyyn tukee myös tämän tutkielman tulosta. Tämän tuloksen perusteella voidaan siis olettaa, että myöskään 50 % VO₂maxin teholla, rasituksensiedolla ja VO₂maxilla ei ole yhteyttä. Näin ollen rasituksensietoa voitaisiin ajatella VO₂maxista irrallisena kestävyysuorituskykyä selittävänä tekijänä. Koska Sm/SR ja RPE:n muutoksen väliltä ei kuitenkaan löydetty yhteyttä, tulee miettiä, onnistuiko Sm/SR kuvaamaan rasittuneisuutta kokonaisvaltaisesti vai epäonnistuiko se esimerkiksi mentaalisen väsymisen kuvaamisessa. Mentaalisen väsymisen voisi ajatella korostuvan RPE-arvioinnissa, sillä se perustuu henkilön kokemaan väsymykseen.

Tulos Sm/SR:n ja RPE:n välisen yhteyden puuttumisesta on hypoteesin vastainen. Greenin ym. (2005) tutkimuksessa todettiin RPE:n muutoksen olevan yhteydessä sykkeen muutokseen tunnin kestoisessa kuormituksessa, joka tapahtui laktaattikynnyksellä. Koska tämän tutkielman tutkimusasetelmassa kuormitusaika oli pidempi, heräsi kysymys siitä saattaisiko RPE ja syke lähteä eriytymään vasta kuormituksen loppuvaiheessa. Näin ei kuitenkaan näyttäisi olevan, sillä dataa jälkikäteen analysoitaessa saatiin selville, että RPE:n muutoksen ja Sm/SR:n väliltä ei löytynyt yhteyttä myöskään yhden ($r = -0,112$, $p = 0,468$) tai kahden tunnin ($r = 0,026$, $p = 0,869$) kuormituksen jälkeen. Kuormituksen pituuden lisäksi tämän tutkielman ja Greenin ym. (2005) tutkimuksen tutkimusasetelmien välillä oli myös muita eroavaisuuksia.

Tässä tutkielmassa kuormitus tapahtui matalammalla teholla, joka on saattanut vaikuttaa RPE:n ja sykkeen muutoksen väliseen yhteyteen. Lisäksi koehenkilöt joiivat nestettä ja tankkasivat hiilihydraatteja kuormituksen aikana, kun taas Greenin ym. (2005) tutkimuksessa

koehenkilöt eivät juoneet nestettä tai tankanneet hiilihydraatteja kuormituksen aikana. Nesteen nauttimisen (Coyle 1998) ja hiilihydraattien tankkaamisen (Hamilton ym. 1991) on todettu vähentävän kuormituksesta johtuvaa sykkeen nousua. RPE:n nousun on myös todettu olevan lievempää nesteytyksen (Riebe ym. 1997) ja hiilihydraattien tankkaamisen (Backhouse ym. 2005) seurauksena. Saattaa siis myös olla, että edellä mainittujen tekijöiden takia Greenin ym. (2005) tutkimuksessa löydetty yhteys RPE:n ja sykkeen välillä johtuisikin esimerkiksi nestehukasta, eikä itse väsymyksestä.

Toisaalta Greenin ym. (2005) tutkimuksessa koehenkilöinä oli liikunnallisesti aktiivisia koehenkilöitä, jolloin RPE-arviot ovat saattaneet olla tarkempia, kuin tässä tutkielmassa, jossa koehenkilöillä ei ollut määrätietoista kestävyysharjoittelutaustaa. Kyseisessä tutkimuksessa oli kysytty myös erikseen jalkojen ja hengityksen RPE:tä kokonais-RPE:n lisäksi, jonka olisi voinut tehdä myös tässä tutkielmassa. Greenin ym. (2005) tutkimuksessa kaikki RPE-arvot, myös kokonais-RPE olivat kuitenkin yhteydessä sykkeeseen. Jalkojen ja hengityksen RPE:n kysyminen saattaa kuitenkin vaikuttaa kokonais-RPE:hen, jos koehenkilöt miettivät tällöin enemmän myös niiden tilaa. Greenin ym. (2005) tutkimuksessa sykettä ei ollut suhteutettu sykereserviin, kuten tässä tutkielmassa. Sykereserviin suhteuttamisen heikkouksista tässä tutkielmassa on käsitelty myöhemmin. Sykkeen ja RPE:n muutoksien väliltä ei kuitenkaan löytynyt yhteyttä silloinkaan, kun niitä analysoitiin jälkikäteen ilman sykkeen suhteuttamista sykereserviin ($r = 0,013$, $p = 0,933$).

Matalatehoisessa liikunnassa kognitiiviset tekijät vaikuttavat vahvemmin RPE-tuloksiin, kun taas korkeampitehoisessa kuormituksessa fysiologisilla tekijöillä on isompi rooli (Hunter ym. 2020). Toisaalta Hunterin ym. (2020) tutkimuksessa kuormitusaika on ollut lyhyt, joten ei tiedetä vaikuttavatko fysiologiset tekijät vahvemmin RPE:hen pitkän matalatehoisen kuormituksen loppuvaiheessa, kun suhteellinen rasitus on lisääntynyt. Fysiologisten ja kognitiivisten tekijöiden vaikutuksien osuuden muutos pitkäkestoisen kuormituksen aikana voisikin selittää RPE:n ja sykkeen välisen yhteyden puuttumista. Hunter ym. (2020) pohtivat tutkimuksensa tulosten johtuvan mielialan suuremmasta vaikutuksesta matalammalla intensiteetillä. Ekkekakis ym. (2011) aihetta koskevan katsausartikkelin mukaan ei ole kuitenkaan selvää näyttöä puolesta eikä vastaan, onko intensiteetillä yhteyttä mielialan vaikutukseen anaerobista kynnyksestä matalammilla tehoilla.

Jos mieliala kuitenkin vaikuttaa vahvemmin RPE:hen matalalla intensiteetillä, saattaa myös yksilöiden erilaiset mielialan vaihtelut pitkän kuormituksen aikana vaikuttaa RPE:n ja sykkeen välisen yhteyden löytämiseen. Näytön ristiriitaisuutta voi selittää se, että toisilla henkilöillä epämukavat ajatukset saattavat nostaa suorituskykyä ja laskea RPE-arviota, kun taas toisilla henkilöillä mukavat ajatukset aiheuttavat saman ilmiön (di Fronso ym. 2020). Voi siis olla, että toisilla koehenkilöillä kuormituksen ja epämukavuuden kasaantuminen kuormituksessa on antanut lisävirtaa kuormituksen suorittamiseen, kun taas toisilla se on lisännyt kuormittuneisuutta. Kuormituksen aikana on saattanut myös tapahtua RPE:ssä näkyvää mentaalista väsymystä, jonka ei aikaisemmissakaan tutkimuksissa ole huomattu vaikuttavan fysiologisiin tekijöihin, kuten sykkeeseen (Marcora ym. 2009).

RPE:n ja intensiteetin yhteyden on todettu voivan olevan kahdenlaista, kun intensiteettiä nostetaan kuormituksen aikana. Osalla RPE:n ja intensiteetin välisen yhteyden on todettu olevan suoraviivaista, kun taas toisilla RPE-arviot kasvavat eksponentiaalisesti suhteessa intensiteettiin, kun intensiteettiä nostetaan. Muun muassa itseluottamuksen on todettu vaikuttavan tämän yhteyden luonteeseen. (Hu ym. 2007) Tässä tutkielmassa intensiteetti ei noussut kuormituksen aikana, mutta sykkeen ja RPE:n keskimääräisen nousun perusteella rasittavuus selvästikin nousi. Voisi siis ajatella, että kyseinen tulos olisi sovellettavissa tähänkin tutkielmaan. Itseluottamus saattaisikin siten vaikuttaa RPE:n nousun luonteeseen tässäkin tutkimuksessa, varsinkin niillä koehenkilöillä, jotka eivät ole ennen tehneet pitkiä kestävyyskuormituksia ja niillä, joilla kuormittuneisuus on ollut suurta testin loppuvaiheilla. Jos RPE:n nousu on joillain koehenkilöillä ollut eksponentiaalista, kun taas sykkeen nousu on ollut lineaarista, on tämä saattanut hankaloittaa yhteyden löytämistä. Saattaakin olla, että RPE:n ja sykkeen väliltä löytyy jonkinlainen todellinen yhteys, jota tämä tutkielma ja sen tilastolliset analyysit eivät onnistuneet löytämään.

Tämän tutkielman tulokset toivat lisää tietoa rasituksensiedosta, jota on aikaisemmin tutkittu hyvin vähän. Tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä kestävyysharjoittelemattomiin henkilöihin. Koska tämän tutkielman perusteella VO_2 maxilla ei näyttäisi olevan yhteyttä rasituksensietoon, tulisi jatkossa rasituksensietoon vaikuttavia tekijöitä tutkia enemmän. Rasituksensiedon yhteyttä anaerobiseen ja aerobiseen kynnystehoon tulisi myös tutkia, sillä nämäkin ovat merkittäviä kestävyysuorituskykyä määrittäviä tekijöitä VO_2 maxin ohella (Jones & Carter, 2000). Lisäksi VO_2 maxin ja rasituksensiedon välistä yhteyttä tulisi tutkia lisää tarkastelemalla rasituksensietoa myös muiden fysiologisten tekijöiden, kuin sykkeen perusteella. Esi-

merkiksi hapenkulutuksen lisääntyminen pitkäkestoisen kuormituksen aikana voisi tarjota lisätietoa VO_2 maxin ja rasituksensiedon yhteydestä. Sykereserviin suhteutetun sykkeen muutoksen kykyä kuvata rasituksensietoa tulisi myös tutkia lisää. Tätä olisi mahdollista tutkia esimerkiksi suorittamalla kynnystesti lepotilassa sekä pitkäkestoisen matalatehoisen kuormituksen jälkeen ja vertaamalla kynnystestin suorituskyvyn heikkenemistä pitkäkestoisen kuormituksen sykkeen muutokseen.

Käytännön kannalta olisi myös hyödyllistä saada lisätietoa rasituksensiedon vaikutuksesta maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn, jotta tiedetään, onko rasituksensietoa matalilla tehoilla hyötyä kehittää, jos tavoitteena on maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn kehittäminen. Jos maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi rasituksensieto ei ole yhteydessä maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn eikä aerobiseen tai anaerobiseen kynnystehoon, on siinä tapauksessa varsinkin kestävyysurheilijoiden syytä miettiä rasituksensiedon kehittämisen osuutta heidän harjoittelussaan. Toisaalta joissain lajeissa kilpailusuoritus voi kestää useita tunteja, jolloin rasituksensiedosta on hyötyä myös kilpailusuoritukseen. Jos rasituksensieto on maksimaalisesta hapenottokyvystä irrallinen kestävyysuorituskykyyn vaikuttava tekijä, olisi rasituksensiedon kehittämisestä erityisesti tällaisten lajien harrastajilla hyötyä. Lisäksi vaikka rasituksensieto itsessään ei olisikaan yhteydessä suorituskykyyn saattaisi rasituksensiedosta olla hyötyä harjoittelun sietämisessä ja mahdollistaa tätä kautta suuremmat harjoittelumäärät. Rasituksensiedon yhteyttä harjoittelun sietämiseen tulisi siis myös tutkia lisää.

Tämän tutkielman vahvuuksia oli tarpeeksi suuri koehenkilömäärä, jotta miehiä ja naisia pystyttiin tarkastelemaan myös erikseen. Naisten tapauksessa kuukautiskierron vaiheella ja hormonaalisella ehkäisyllä on yhteyttä matalatehoisessa liikunnassa ainakin RPE-arvioon (Hooper ym. 2011). Jos naisten rasituksensiedon todellisesta luonteesta halutaan lisätietoa, voisi näiden tekijöiden vakioimisesta olla hyötyä. Tämän tutkielman vahvuudeksi voidaan myös laskea koehenkilöiden harjoittelutaustan yhtenäisyys, jolloin mahdollinen joidenkin koehenkilöiden runsas kestävyysurheilutausta ei päässyt vaikuttamaan tuloksiin.

Tutkielman toteutuksessa huomattiin myös heikkouksia. Kolmen tunnin peruskestävyystestissä tuli esille koehenkilöiden vähäinen pyöräilyharjoittelutausta, joka näkyi esimerkiksi istumalihasten väsymisenä ja tätä kautta epämukavuuden lisääntymisenä testin edetessä. Yleisen RPE:n lisäksi olisikin voitu kysyä RPE:tä erikseen hengityselimistölle ja jaloille, jolloin rasituksesta johtuva väsyminen olisi saattanut tulla paremmin esille. RPE-taulukko, joka oli välil-

lä 0–10 saattoi myös rajoittaa RPE:n muutosta, sillä yhdellä koehenkilöistä RPE- arvio oli jo kolmen tunnin testin alussa 6. Tällöin maksimaaliseksi RPE:n muutokseksi olisi suurimillaankin voinut tulla vain 4 yksikköä. Tämä saattoi vääristää tuloksia. Myös sykkeen suhteuttaminen sykereserviin saattoi tuoda lisävirhelähteitä tutkielmaan. Sykreservin laskemiseen käytettyä leposykettä ei todellisuudessa ollut mitattu täydellisessä lepotilassa vaan juuri ennen testiä istuma-asennossa. Tällöin sekä asento, että jännittävä tilanne on saattanut nostaa sykettä. Lisäksi sykreservin laskemiseen käytetty maksimisykekään ei välttämättä ollut aivan todellinen maksimaalinen arvo. Maksimisykkeeksi määriteltiin maksimaalisen hapenottokyvyn testin korkein syke. Kaikkien koehenkilöiden syke ei välttämättä ollut aivan maksimissa testin lopettamishetkellä. Jos sykreservi on edellä mainituista tekijöistä johtuen ollut todellista sykreserviä pienempi, ei sykkeen todellista käyttäytymistä ole onnistuttu täydellisesti kuvaamaan, joka vaikuttaa myös yhteyksien löytymiseen. Tutkielman aikana huomattiin myös ihmisten tekijöiden vaikutus pitkäkestoisen kuormituksen tuloksiin, kun osan koehenkilöistä tuli keskeyttää kolmen tunnin testi hetkellisesti WC-käynnin ajaksi, vaikka tätä pyrittiinkin välttämään. Nämä asiat tulisi pyrkiä ottamaan huomioon tulevissakin tutkimuksissa, jotta rasituksensiedosta saataisiin mahdollisimman tarkkaa tietoa.

Kaikkien mainittujen asioiden pohjalta, voidaan siis tulkita, että rasituksensieto näyttäisi olevan tämän tutkielman perusteella hapenottokyvystä irrallinen kestävyysuorituskykyyn liittyvä tekijä. Tämän tutkielman tulokset jättivät kuitenkin myös tulkinnanvaraa sen suhteen, onko sykreserviin suhteutettu sykkeen muutos riittävä muuttuja kuvastamaan rasituksensietoa, sillä sen ja RPE:n muutoksen välillä ei löydetty yhteyttä tässä työssä. Saattaa siis olla, että sykkeen muutoksen tarkastelu ei tuo meille kaikkea informaatiota rasituksen kasaantumisesta. Tulisikin saada vielä lisätietoa niistä rasituksensietoon vaikuttavista tekijöistä, joita sykreserviin suhteutettu sykkeen muutos ei tässä tutkielmassa mahdollisesti onnistunut ottamaan huomioon, jotta voisimme kertoa maksimaalisen hapenottokyvyn ja rasituksensiedon todellisesta yhteydestä.

LÄHTEET

- Abbiss, C. R. & Laursen, P. B. (2005). Models to Explain Fatigue during Prolonged Endurance Cycling. *Sports Medicine* 35(10), 865–898. doi:10.2165/00007256-200535100-00004.
- Abernethy, P. J. (1993). Influence of Acute Endurance Activity on Isokinetic Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 7(3), 141–146.
- Astorino, T., Edmunds, R., Clark, A., King, L., Gallant, R., Namm, S., Fischer, A. & Wood, K. (2016). High-Intensity Interval Training Increases Cardiac Output and VO₂max. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 49(2), 265-273. doi:10.1249/MSS.0000000000001099.
- Backhouse, S. H., Bishop, N. C., Biddle, S. J. H. & Williams, C. (2005). Effect of carbohydrate and prolonged exercise on affect and perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(10), 1768–1773. doi:10.1249/01.mss.0000181837.77380.80.
- Bassett, D. R. J. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(1), 70–84. doi:10.1097/00005768-200001000-00012.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 14(5), 377–381.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Perusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S. & Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(2), 252–258. doi:10.1097/00005768-199802000-00013.
- Carrick-Ranson, G., Hastings, J. L., Bhella, P. S., Shibata, S., Fujimoto, N., Palmer, D., Boyd, K. & Levine, B. D. (2013). The effect of age-related differences in body size and composition on cardiovascular determinants of VO₂max. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences & Medical Sciences* 68(5), 608–616. doi:10.1093/gerona/gls220.
- Coggan, A. R. & Coyle, E. F. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exercise & Sport Sciences Reviews* 19(1), 1–40.
- Connell, C. J. W., Thompson, B., Turuwhenua, J., Srzich, A. & Gant, N. (2017). Fatigue-related impairments in oculomotor control are prevented by norepinephrine-dopamine reuptake inhibition. *Scientific Reports* 7(1). doi:10.1038/srep42726.

- Costill, D. L., Fink, W. J. & Pollock, M. L. (1976). Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 8(2), 96-100. doi:10.1249/00005768-197600820-00015.
- Coyle, E. F. (1998). Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *International Journal of Sports Medicine* 19, 121-124. doi:10.1055/s-2007-971975.
- Coyle, E. F. (2000). Physical activity as a metabolic stressor. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1(2), 512-520. doi:10.1093/ajcn/72.2.512S.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K. & Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology* 61(1), 165–172. doi:10.1152/jappl.1986.61.1.165
- Coyle, E. F. & Gonzalez-Alonso, J. (2001). Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise & Sport Sciences Reviews* 29(2), 88–92. doi:0.1097/00003677-200104000-00009.
- Dawson, E. A., Shave, R., George, K., Whyte, G., Ball, D., Gaze, D. & Collinson, P. (2005). Cardiac drift during prolonged exercise with echocardiographic evidence of reduced diastolic function of the heart. *European Journal of Applied Physiology* 94(3), 305–309. doi:10.1007/s00421-005-1318-3.
- di Fronso, S., Aquino, A., Bondár, R. Z., Montesano, C., Robazza, C. & Bertollo, M. (2020). The influence of core affect on cyclo-ergometer endurance performance: Effects on performance outcomes and perceived exertion. *Journal of Sport and Health Science* 9(6), 578–586. doi:10.1016/j.jshs.2019.12.004.
- Ekkekakis, P., Parfitt, G. & Petruzzello, S. J. (2011). The Pleasure and Displeasure People Feel When they Exercise at Different Intensities. *Sports Medicine*, 41(8), 641–671. doi:11590680-000000000-00000
- Ettema, G. & Lorås, H. W. (2009). Efficiency in cycling: a review. *European Journal of Applied Physiology* 106(1), 1–14. doi:10.1007/s00421-009-1008-7
- Friel, J. (2009). *The Cyclist's Training Bible*. Neljäs painos. Boulder, Colorado: VeloPress.
- Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, B. J. & Coyle, E. F. (1999). Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *Journal of Applied Physiology* 86(3), 799–805. doi:10.1152/jappl.1999.86.3.799.
- Fulghum, K. & Hill, B. G. (2018). Metabolic Mechanisms of Exercise-Induced Cardiac Remodeling. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 11(5), 127. doi:10.3389/fcvm.2018.00127

- Fusco, A., Knutson, C., King, C., Mikat, R. P., Porcari, J. P., Cortis, C. & Foster, C. (2020). Session RPE During Prolonged Exercise Training. *International Journal of Sports Physiology & Performance* 15(2), 292–294. doi:10.1123/ijsp.2019-0137.
- Ganio, M. S., Wingo, J. E., Carroll, C. E., Thomas, M. K. & Cureton, K. J. (2006). Fluid ingestion attenuates the decline in VO₂peak associated with cardiovascular drift. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38(5), 901–909. doi:10.1249/01.mss.0000218127.14107.08.
- Glance, B. W., Kremenec, I. J. & McHugh, M. P. (2013). Sex differences in central and peripheral mechanisms of fatigue in cyclists. *European Journal of Applied Physiology* 113(4), 1091–1098. doi:10.1007/s00421-012-2516-4.
- Glance, B. W., McHugh, M. P. & Gleim, G. W. (1998). Effects of a 2-Hour Run on Metabolic Economy and Lower Extremity Strength in Men and Women. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 27(3), 189–196. doi:10.2519/jospt.1998.27.3.189.
- Green, H. J. (1997). Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Sciences* 15(3), 247–256. doi:10.1080/026404197367254.
- Green, J. M., McLester, J. R., Crews, T. R., Wickwire, P. J., Pritchett, R. C. & Redden, A. (2005). RPE-lactate dissociation during extended cycling. *European Journal of Applied Physiology* 94(1), 145–150. doi:10.1007/s00421-004-1311-2.
- Hagberg, J. M., Goldberg, A. P., Lakatta, L., O'Connor, F. C., Becker, L. C., Lakatta, E. G. & Fleg, J. L. (1998). Expanded blood volumes contribute to the increased cardiovascular performance of endurance-trained older men. *Journal of Applied Physiology* 85(2), 484–489. doi:10.1152/jappl.1998.85.2.484.
- Hamilton, M. T., Gonzalez-Alonso, J., Montain, S. J. & Coyle, E. F. (1991). Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *Journal of Applied Physiology* 71(3), 871–877. doi:10.1152/jappl.1991.71.3.871.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(4), 665–671. doi:10.1249/mss.0b013e3180304570.
- Holloszy, J. O. (1973). Biochemical Adaptations to Exercise: Aerobic Metabolism. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 1, 45-72. doi:10.1249/00003677-197300010-00006
- Holloszy, J. O. & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology* 56(4), 831–838. doi:10.1152/jappl.1984.56.4.831.

- Hooper, A. E. C., Bryan, A. D. & Eaton, M. (2011). Menstrual cycle effects on perceived exertion and pain during exercise among sedentary women. *Journal of Women's Health* 20(3), 439–446. doi:10.1089/jwh.2010.2042.
- Hu, L., McAuley, E., Motl, R. W. & Konopack, J. F. (2007). Influence of self-efficacy on the functional relationship between ratings of perceived exertion and exercise intensity. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention* 27(5), 303–308. doi:10.1097/01.HCR.0000291298.70517.7e.
- Hulkkonen, J., Aatola, H., Palve, K., Lehtimäki, T., Hutri-Kahonen, N., Viikari, J. S., Raitakari, O. T. & Kahonen, M. (2014). Determinants of exercise peak arterial blood pressure, circulatory power, and exercise cardiac power in a population based sample of Finnish male and female aged 30 to 47 years: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *BMC Cardiovascular Disorders* 14, 35. doi:10.1186/1471-2261-14-35.
- Hunter, G. R., Neumeier, W. H., Chandler-Laney, P. C., Carter, S. J., Borges, J. H., Hornbuckle, L. M., Plaisance, E. P. & Fisher, G. (2020). Ratings of Perceived Exertion During Walking Predicts Endurance Independent of Physiological Effort in Older Women. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34(5), 1340–1344. doi:10.1519/JSC.0000000000003268.
- Ivy, J. L., Costill, D. L. & Maxwell, B. D. (1980). Skeletal muscle determinants of maximum aerobic power in man. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 44(1), 1–8. doi:10.1007/BF00421757.
- Jones, A. M. & Carter, H. (2000). The Effect of Endurance Training on Parameters of Aerobic Fitness: *Sports Medicine* 29(6), 373–386. doi:10.2165/00007256-200029060-00001.
- Kanstrup, I. L. & Ekblom, B. (1984). Blood volume and hemoglobin concentration as determinants of maximal aerobic power. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 16(3), 256–262.
- Kayser, B. (2003). Exercise starts and ends in the brain. *European Journal of Applied Physiology* 90(3), 411–419. doi:10.1007/s00421-003-0902-7.
- Klass, M., Duchateau, J., Rabec, S., Meeusen, R. & Roelands, B. (2016). Noradrenaline Reuptake Inhibition Impairs Cortical Output and Limits Endurance Time. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48(6), 1014–1023. doi:10.1249/MSS.0000000000000879.
- Lafrenz, A. J., Wingo, J. E., Ganio, M. S. & Cureton, K. J. (2008). Effect of ambient temperature on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40(6), 1065–1071. doi:10.1249/MSS.0b013e3181666ed7.

- Lepers, R., Hausswirth, C., Maffiuletti, N., Brisswalter, J. & van Hoecke, J. (2000). Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(11), 1880–1886. doi:10.1097/00005768-200011000-00010.
- Lundby, C., Montero, D. & Joyner, M. (2017). Biology of VO₂ max: looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica* 220(2), 218–228. doi:10.1111/apha.12827.
- Maffetone, P. (2016). Cardiac Drift or Simple Fatigue? Models of Exercise Intensity: power vs. heart rate. nettiartikkeli. Viitattu: 23.11.2021. https://www.researchgate.net/publication/309566313_Cardiac_Drift_or_Simple_Fatigue_Models_of_Exercise_Intensity_power_vs_heart_rate.
- Marcora, S. M., Bosio, A. & de Morree, H. M. (2008). Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative & Comparative Physiology* 294(3), 874-883. doi:10.1152/ajpregu.00678.2007.
- Marcora, S. M., Staiano, W. & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology* 106(3), 857–864. doi:10.1152/jappphysiol.91324.2008.
- Martikainen, T. (2018). Kehity pyöräilijänä: pyöräilijän tehotreeni. 1. painos. Lahti: Fitra.
- Martino, M., Gledhill, N. & Jamnik, V. (2002). High VO₂max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34(6), 966–971. doi:10.1097/00005768-200206000-00010.
- Mattsson, C. M., Stahlberg, M., Larsen, F. J., Braunschweig, F. & Ekblom, B. (2011). Late cardiovascular drift observable during ultraendurance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43(7), 1162–1168. doi:10.1249/MSS.0b013e318208f773.
- Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E. & Plews, D. J. (2021). The Importance of ‘Durability’ in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. *Sports Medicine* 51(8), 1619–1628. doi:10.1007/s40279-021-01459-0.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Meeusen, R., Van Cutsem, J. & Roelands, B. (2020). Endurance exercise-induced and mental fatigue and the brain. *Experimental Physiology* 106(12), 2294-2298. doi:10.1113/EP088186.
- Milanović, Z., Sporis, G. & Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A

- Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine* 45(10), 1469-1481. doi:10.1007/s40279-015-0365-0.
- Millet, G. Y., Millet, G. P., Lattier, G., Maffiuletti, N. A. & Candau, R. (2003). Alteration of neuromuscular function after a prolonged road cycling race. *International Journal of Sports Medicine* 24(3), 190–194. doi:10.1055/s-2003-39088.
- Morris, M. G., Dawes, H., Howells, K., Scott, O. M. & Cramp, M. (2008). Relationships between muscle fatigue characteristics and markers of endurance performance. *Journal of Sports Science & Medicine* 7(4), 431–436.
- Nassis, G. P. & Geladas, N. D. (2002). Cardiac output decline in prolonged dynamic exercise is affected by the exercise mode. *Pflügers Archiv* 445(3), 398–404. doi:10.1007/s00424-002-0935-5.
- Ng, J., Dobbs, W. C. & Wingo, J. E. (2019). Effect of Ice Slurry Ingestion on Cardiovascular Drift and VO₂max during Heat Stress. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 51(3), 582–589. doi:10.1249/MSS.0000000000001794.
- Noakes, T. D. (2011). Time to move beyond a brainless exercise physiology: the evidence for complex regulation of human exercise performance. *Applied Physiology, Nutrition, & Metabolism* 36(1), 23–35. doi:10.1139/H10-082.
- Nummela, A. (2007). Aerobisen kestävyiden suorat mittausmenetelmät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen, M. Kallinen & J. Aho. (toim.). *Kuntotestauksen käsikirja 2. uudistettu painos*. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 64-78.
- Nummela A. & Häkkinen K. (2016). Kestävyysarjoittelu ja voimaharjoittelu kestävyyslajeissa. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvallmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvalmennuksessa*. 1. painos. Lahti: VK-Kustannus Oy, 272-294.
- Nummela, A. (2019). *Juokse! nopeammin, taloudellisemmin ja pidemmälle*. 1. painos. Oulu: Fitra.
- Nybo, L. (2003). CNS fatigue and prolonged exercise: effect of glucose supplementation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35(4), 589–594. doi:10.1249/01.MSS.0000058433.85789.66.
- Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S. & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂ max. *Journal of Applied Physiology* 66(6), 2491–2495. doi: 10.1152/jappl.1989.66.6.2491.
- Riebe, D., Maresh, C. M., Armstrong, L. E., Kenefick, R. W., Castellani, J. W., Echegaray, M. E., Clark, B. A. & Camaione, D. N. (1997). Effects of oral and intravenous rehy-

- dration on ratings of perceived exertion and thirst. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 29(1), 117–124. doi: 10.1097/00005768-199701000-00017.
- Rowell, L. B. (1993). *Human Cardiovascular Control*. 1. painos. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Sahlin, K. & Seger, J. Y. (1995). Effects of prolonged exercise on the contractile properties of human quadriceps muscle. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 71(2–3), 180–186. doi:10.1007/BF00854977.
- Schutte, N. M., Nederend, I., Hudziak, J. J., Bartels, M. & de Geus, E. J. C. (2016). Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics* 48(3), 210–219. doi:10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- Seals, D. R., Rogers, M. A., Hagberg, J. M., Yamamoto, C., Cryer, P. E. & Ehsani, A. A. (1988). Left ventricular dysfunction after prolonged strenuous exercise in healthy subjects. *American Journal of Cardiology* 61(11), 875–879. 10.1016/0002-9149(88)90362-1.
- Storen, O., Ulevag, K., Larsen, M. H., Stoa, E. M. & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *Journal of Strength & Conditioning Research* 27(9), 2366–2373. doi:10.1519/JSC.0b013e31827f5427.
- Swart, J., Lamberts, R. P., Lambert, M. I., St Clair Gibson, A., Lambert, E. V., Skowno, J. & Noakes, T. D. (2009). Exercising with reserve: evidence that the central nervous system regulates prolonged exercise performance. *British Journal of Sports Medicine* 43(10), 782–788. doi:10.1136/bjism.2008.055889.
- Turkevich, D., Micco, A. & Reeves, J. T. (1988). Noninvasive measurement of the decrease in left ventricular filling time during maximal exercise in normal subjects. *American Journal of Cardiology* 62(9), 650–652. doi:10.1016/0002-9149(88)90676-5.
- Vallier, J.-M., Grego, F., Basset, F., Lepers, R., Bernard, T. & Brisswalter, J. (2005). Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling exercise. *British Journal of Sports Medicine* 39(4), e17. doi:10.1136/bjism.2004.012393.
- Van Cutsem, J., Roelands, B., Pluym, B., Tassignon, B., Verschueren, J. O., DE Pauw, K. & Meeusen, R. (2020). Can Creatine Combat the Mental Fatigue-associated Decrease in Visuomotor Skills? *Medicine & Science in Sports & Exercise* 52(1), 120–130. doi:10.1249/MSS.0000000000002122.
- Vollaard, N. B. J., Constantin-Teodosiu, D., Fredriksson, K., Rooyackers, O., Jansson, E., Greenhaff, P. L., Timmons, J. A. & Sundberg, C. J. (2009). Systematic analysis of adaptations in aerobic capacity and submaximal energy metabolism provides a unique

- insight into determinants of human aerobic performance. *Journal of Applied Physiology* 106(5), 1479–1486. doi:10.1152/jappphysiol.91453.2008.
- Warburton, D. E. R., Haykowsky, M. J., Quinney, H. A., Blackmore, D., Teo, K. K., Taylor, D. A., McGavock, J. & Humen, D. P. (2004). Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(6), 991–1000. doi:10.1249/01.mss.0000128163.88298.cb.
- Weir, J. P., Beck, T. W., Cramer, J. T. & Housh, T. J. (2006). Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *British Journal of Sports Medicine* 40(7), 573–586. doi:10.1136/bjism.2005.023028.
- Wingo, J. E., Lafrenz, A. J., Ganio, M. S., Edwards, G. L. & Cureton, K. J. (2005). Cardiovascular drift is related to reduced maximal oxygen uptake during heat stress. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37(2), 248–255. doi:10.1249/01.mss.0000152731.33450.95.
- Wingo, J. E., Salaga, L. J., Newlin, M. K. & Cureton, K. J. (2012). Cardiovascular Drift and Vo₂max During Cycling and Walking in a Temperate Environment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* 83(7), 660–666. doi:10.3357/ASEM.3246.2012.
- Wingo, J. E., Stone, T. & Ng, J. (2020). Cardiovascular Drift and Maximal Oxygen Uptake during Running and Cycling in the Heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 52(9), 1924–1932. doi:10.1249/MSS.0000000000002324.
- Wolfe, L. A., Cunningham, D. A., Davis, G. M. & Rosenfeld, H. (1978). Relationship between maximal oxygen uptake and left ventricular function in exercise. *Journal of Applied Physiology* 44(1), 44–49. doi:10.1152/jappl.1978.44.1.44.