

PYÖRÄILYYN SUUNNITELLUN EPÄSUORAN VO₂MAX -TESTIN VALIDOINTI

Anne-Mari Teikari

Liikuntafysiologia

Pro Gradu -tutkielma

Syksy 2016

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja: Taija Juutinen

TIIVISTELMÄ

Anne-Mari Teikari (2016). Pyöräilyyn suunnitellun epäsuoran VO_{2max} -testin validointi. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian Pro Gradu -tutkielma, 66 s, 5 liitettä.

Aerobisen suorituskyvyn määrittäjänä käytetään usein maksimaalista hapenottoa (VO_{2max}). VO_{2max} -arvojen avulla voidaan muun muassa monitoroida yksilön harjoittelustatusta tai terveydentilaa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka tarkasti Firstbeat Technologies Oy:n kehittämä kuntotesti arvioi maksimaalista hapenkulutusta (VO_{2max}), kun testi toteutetaan pyöräillen. Menetelmä laskee arvion VO_{2max} -arvosta neurooverkkomallinnukseen perustuvalla menetelmällä, jossa käytetään määrittäjinä sykettä, kuormitusintensiteetin muutoksia (on/off -vaste) sekä sykevälivaihtelun avulla määritettyä hengitysfrekvenssiä. Tutkimukseen osallistui yhteensä 29 koehenkilöä, 15 naista (ikä 28,1 ± 5,4 vuotta) ja 14 miestä (ikä 29,7 ± 4,9 vuotta). Tutkimukseen sisältyi kaksi testikertaa: maksimaalinen testi laboratoriossa ja submaksimaalinen kenttätesti normaalissa liikenneympäristössä. Laboratoriossa suoritettuna maksimaalisen testin aikana tutkittavilta kerättiin sykedata, tehontuotto sekä hengityskaasumuuttujat. Maksimaalisen testin yhteydessä suoritettiin samanaikaisesti suora VO_{2max} -testi, josta saatuja tuloksia käytettiin tässä tutkimuksessa referenssiarvoina Firstbeatin kuntotestin antamiin arvioihin. Submaksimaalisessa testissä tutkittavat suorittivat 30 minuutin mittaisen pyöräilyn, jonka aikana kerättiin sykedata sekä tehontuotto. Molemmat testit suoritettiin samalla pyörällä. Tutkimuksessa tarkasteltiin lisäksi löytyykö pyöräilyn aikaisen maksimaalisen tehontuoton ja isometrisen polvenojennusvoiman välille tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Tulokset osoittivat Firstbeatin kuntotestin yliarvioivan maksimaalista hapenkulutusta keskimäärin 0,54 ml/kg/min (1,3 %). Laboratoriotestit aliarvioivat maksimaalista hapenkulutusta 0,88 ml/kg/min (2,2 %), ja kenttätesteissä ero oli yliarvioiva 1,85 ml/kg/min (4,6 %) erotuksella. Bland-Altmanin kaaviolla tarkasteltuna luottamusvälit olivat laboratoriotesteissä -7,5 – 9,3 ml/kg/min ja kenttätesteissä -8.9 – 5.2 ml/kg/min. Sekä laboratorio- että kenttätestien ja suoran VO_{2max} -testien välillä esiintyi merkitsevä positiivinen korrelaatio (r=0.843; p<0.01 ja r=0.863; p<0.01, vastaavasti). Laboratoriossa suoritettujen testien absoluuttinen prosentuaalinen keskivirhe oli 8,7 %, ja kenttätesteissä 7.7 %. Tutkimuksessa isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välillä esiintyi tilastollisesti merkitsevä korrelaatio (r= 0.684; p<0.01). Tulosten perusteella Firstbeat Technologies Oy:n kuntotesti antaa suhteellisen tarkan arvion maksimaalisesta hapenkulutuksesta pyöräilyssä ja sitä voidaan pitää soveltuvana menetelmänä kuntoliikkujien kuntotestaukseen.

Asiasanat: kuntotestaus, maksimaalinen hapenottoa (VO_{2max}), epäsuora submaksimaalinen kuntotesti, isometrinen polvenojennusvoima, kenttätesti

ABSTRACT

Anne-Mari Teikari (2016). Validation of an indirect $\text{VO}_{2\text{max}}$ test designed for cycling performances. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Master's Thesis in Exercise Physiology, 66 pages, 5 appendices.

Maximal oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{max}}$) is a commonly used physiological determinant, which gives a good insight about one's aerobic capacity and also overall health. It is verified that higher oxygen consumption capacity correlates for instance with lower risk of developing cardiovascular diseases. Therefore, measuring $\text{VO}_{2\text{max}}$ is a useful tool for individual itself to use, not just for monitoring their own physical training status and progress, but also in the perspective of keeping count of their activity and health. The purpose of the present study was to investigate the validity of the Firstbeat Technologies Ltd.'s product, Firstbeat Fitness Test, which is an indirect method used for $\text{VO}_{2\text{max}}$ evaluation. The method is based on the measurement of heart rate, the differences in the on/off dynamics of heart rate and the respiration rate determined from HR variability. In total 29 subjects, 15 women (age 28.1 ± 5.4 years) and 14 men (age 29.7 ± 4.9 years) took part in the study. The study contained two different tests: a maximal test performed in the laboratory settings and a submaximal field test performed outdoors in the normal traffic environment. During the maximal test heart rate data, power output data and respiratory gases were collected. A direct $\text{VO}_{2\text{max}}$ test was performed simultaneously in the laboratory. The results of the direct maximal $\text{VO}_{2\text{max}}$ tests were used as reference values to the Firstbeat Fitness Test results. In the submaximal field test subjects cycled approximately 30 minutes, and heart rate data and power output data were collected during the test. Both tests were performed using the same bicycle. This study also examined the correlation between the maximal power output during the maximal test and the isometric knee extension force. The results of this study suggest that the Firstbeat Fitness Test overestimates maximal oxygen consumption on average 0.54 ml/kg/min (1.3 %). The method underestimated the values in the laboratory settings approximately 0.88 ml/kg/min (2.2 %), and overestimated the values in the field settings 1.85 ml/kg/min (4.6 %). Based on Bland-Altman plot the limits of agreement were $-7.5 - 9.3$ ml/kg/min and $-8.9 - 5.2$ ml/kg/min. Significant positive correlation was found with both tests compared to direct $\text{VO}_{2\text{max}}$ test (($r=0.843$; $p<0.01$ and $r=0.863$; $p<0.01$, respectively). The mean absolute percentage error of the laboratory tests and field tests were 8.7 % and 7.7 %. The correlation between the peak power production and maximal isometric knee extension force was found to be statistically significant ($r = 0.684$; $p<0.01$). Based on the results of this study the Firstbeat Fitness Test gives fairly accurate estimation of the $\text{VO}_{2\text{max}}$ values, and therefore can be seen as suitable method for estimation.

Key words: fitness test, maximal oxygen consumption ($\text{VO}_{2\text{max}}$), indirect submaximal fitness test, isometric knee extension force, field test

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	Painoindeksi (<i>Body Mass Index</i>) on suure, jolla arvioidaan painon ja pituuden suhdetta. Indeksissä ilmoitetaan painon suhde pituuden neliöön.
HR _{max}	Fyysisen kuormituksen aikainen maksimaalinen syke
RER	Hengityskaasuista mitattu hengitysosamäärä (<i>Respiratory Exchange Ratio</i>)
RPE	Subjekttiivista väsymistä mittaava asteikko (<i>Rating of Perceived Exertion</i>)
VO ₂	Hapenkulutus
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenottoikyky
VO _{2peak}	Kuormituksessa mitattu korkein hapenkulutuksen arvo

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY	3
2.1 Määritelmä	3
2.2 Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavia tekijöitä	4
2.3 Maksimaalisen hapenottokyvyn yhteys terveydentilaan.....	7
2.4 Maksimaalista hapenottoa rajoittavat tekijät.....	9
2.5 Maksimaalisen hapenkulutuksen kriteerit.....	12
3 MAKSIMAALISEN HAPENOTTOKYVYN TESTAUS	16
3.1 Suora VO _{2max} -testi.....	16
3.2 Epäsuorat testimenetelmät	17
3.3 Firstbeat - kuntotesti.....	20
4 PYÖRÄILYN FYSIOLOGISIIN VASTEISIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ.....	23
4.1 Pyöräilyn käyttö kuntotestimuotona	23
4.2 Alaraajojen lihasaktiivisuuden ja voimantuoton yhteyksiä O ₂ -kinetiikkaan ja tehontuottoon.....	24
4.3 Pyöräilyasento.....	27
4.4 Kierrosnopeus	28
4.5 Ulko- ja sisäpyöräily	30
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	32
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	34

6.1	Koehenkilöt	34
6.2	Koeasetelma	35
6.2.1	Suoran VO _{2max} -testin protokolla	36
6.2.2	Submaksimaalisen testin protokolla.....	38
6.3	Tutkimuslaitteisto.....	39
6.4	Tilastolliset analyysit	39
7	TULOKSET	41
7.1	Suoran VO _{2max} -testin tulokset	41
7.2	Submaksimaalisten kenttätestien tulokset.....	44
7.3	Testien keskinäinen tarkastelu	47
7.3.1	Molempien testien tarkastelu	47
7.3.2	Firstbeatin testien keskinäinen vertailu	48
7.4	Tehontuotto ja isometrinen polvenojennusvoima	49
8	POHDINTA	51
8.1	Maksimaalisen hapenottokyvyn arvioinnin tarkkuus	51
8.2	Tehontuoton ja isometrisen polvenojennusvoiman välinen tarkastelu	56
8.3	Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet	56
8.4	Yhteenveto	57
	LÄHTEET	59
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Maksimaalinen hapenottookyky, lyhennettynä VO_{2max} , on yleisesti käytössä oleva fyysisen suorituskyvyn sekä terveydentilan mittari. Aerobisen kunnan mittaamiselle on kertynyt pitkät perinteet ja hapenottokyvyn mittaaminen onkin ollut keskeinen osa kuntotestausta ja terveyden seurantaan jo vuosikymmenien ajan (mm. Cink & Thomas 1981; Sartor ym. 2013). Menetelmää on perinteisesti käytetty pääasiassa kilpaurheilijoiden harjoittelun seurannan työkaluna, kuntotestausasemilla sekä kliinisessä tutkimuksessa diagnostiikassa ja taudinkuvan arvioinnin apuvälineenä (ACSM, 2009, 106; Sartor ym. 2013). Tutkimusnäytön mukaan korkeampi maksimaalinen hapenottookyky korreloi esimerkiksi paremman sydänterveyden, elämänlaadun sekä parempien kognitiivisten taitojen kanssa (Wendell ym. 2014; Strijk ym. 2010, Savonen ym. 2014). Tämän kaltaiset tulokset osoittavat hyvän aerobisen kunnan merkityksen myös kansanterveydellisestä näkökulmasta, ja osoittavat miksi maksimaalista hapenottookykyä on hyvä nyt ja myös tulevaisuudessa käyttää terveydentilan seurannan välineenä.

Nykyään tekniikan kehittyminen on mahdollistanut sen, että fyysistä suorituskykyä mittaavat teknologiat ovat rantautuneet myös mukaan kuluttajapuolelle, missä ne ovatkin saavuttaneet suosiota terveys- ja kuntoliikkujien keskuudessa (Moilanen 2014). Myös maksimaalista hapenottookykyä mittaavat teknologiat oletettavasti integroituvat tämän kehityssuunnan mukaisesti enemmän massojen käyttöön; esimerkiksi Sartor ym. (2013) toteavat, että tulevaisuudessa VO_{2max} -arvon määrittämiseen epäsuoralla testillä ei todennäköisesti tarvita enää tarkkaa protokollaa testin suorittamiseen käytössä olevan teknologian ansiosta. Toisin sanoen testin ei tarvitse olla aika- tai paikkasidonnainen.

Maksimaalisen hapenottokyvyn mittaamiseen käytetään sekä suoria että epäsuoria menetelmiä (Malek ym. 2004; Astorino ym. 2009; Midgley ym. 2007). Suora mittaustapa suoritetaan mittaamalla henkilön hapenkulutus suoraan hengityskaasuista maksimaalisen fyysisen kuormituksen aikana (Keskinen ym. 2007, 60–61). Epäsuorien menetelmien avulla hapenkulutus arvioidaan muiden määrittäjien avulla, usein hyväksi käyttäen suorituksen

aikaista sykedataa ja tehontuottoa. Suoralla maksimaalisella mittaustavalla on todettu olevan merkittävästi korkeampi tarkkuus verrattuna epäsuoriin menetelmiin. Suorien, maksimaalisten, testien toteuttamiseen liittyy kuitenkin aina korkeammat riskit, ja tästä johtuen korkeaan riskiryhmään kuuluvilla testattavilla vaaditaan usein myös lääkärin läsnäoloa testin aikana. Lisäksi suorat testimenetelmät ovat kalliita toteuttaa ja vaativat pääsääntöisesti laboratorio-olosuhteet testien toteutukseen. (ACSM 2009, 73; Sartor ym. 2013.)

Suorien testimenetelmien haittapuolien sekä oletettavasti kasvavan kuluttajapuolen kysynnän vuoksi on olemassa tarve epäsuorien testimenetelmien käyttämiselle. Epäsuorien submaksimaalisten testimenetelmien etuina verrattuna suoriin testimenetelmiin ovat niiden kustannustehokkuus, skaalautuvuus ja turvallisuus (Keskinen ym. 2007, 78; Castro-Pinero ym. 2010). Epäsuorat testimenetelmät soveltuvatkin hyvin kenttäolosuhteisiin ja tilanteisiin, joissa mittaukset on kohdistettu suurelle koehenkilöjoukolla samanaikaisesti (Castro-Pinero ym. 2010). Tarkoitukseen sopivaa epäsuoraa submaksimaalista testimenetelmää voitaisiin mahdollisesti hyödyntää enemmän myös kliinisessä työssä suoran testin sijaan, sillä tutkimustapa ei silloin sulkisi pois niitä, jotka eivät pysty suoriutumaan maksimaalisesta suorituksesta komplikaatoriskien vuoksi (Savonen ym. 2014).

Tämän työn tarkoituksena on tutkia Firstbeat Technologies Oy:n pyöräilyyn kehitetyn epäsuoran submaksimaalisen VO_{2max} -testin luotettavuutta. Työn kirjallisessa osuudessa perehdytään tarkemmin maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaviin tekijöihin, hapenottokyvyn mittaamiseen sekä pyöräilyn käyttöön kuntotestimuotona. Lisäksi työssä käydään läpi pyöräilyn aikaiseen hapenkulutukseen ja tehontuottoon mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä. Työn kokeellisessa osuudessa mitataan kuntotestin luotettavuutta kahdella eri protokollalla. Tutkimuksessa tarkastellaan myös löytyykö isometrisen polvenojennusvoiman sekä pyöräilyn tehontuoton välille korrelaatiota.

2 MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY

2.1 Määritelmä

Maksimaalinen hapenottokyky, VO_{2max} , on yksi keskeisimmistä aerobisen suorituskyvyn fysiologisista määrittäjistä (Timson ym. 2008). On yleisesti tunnustettu, että hapenottokyvylle on olemassa yläraja, ja maksimaalinen hapenottokyky tarkoittaa juuri tätä korkeinta fysiologista ylärajaa, jossa hengitys- ja verenkiertoelimistö pystyy käyttämään happea hyväksi (Astorino ym. 2009). Maksimaalisen hapenottokyvyn mittaukselle on kehittynyt melko pitkä historia, sillä sen juuret ulottuvat jopa yli 90 vuoden taakse. Tällöin todettiin ensimmäistä kertaa, että korkealla maksimaalisella hapenottokyvyllä on yhteys menestykseen keskipitkillä ja pitkillä juoksumatkoilla. Lisäksi jo tuolloin ymmärrettiin, että maksimaalinen hapenottokyky on ominaisuus, joka vaihtelee eri yksilöiden välillä huomattavastikin. (Hill & Lupton 1923.)

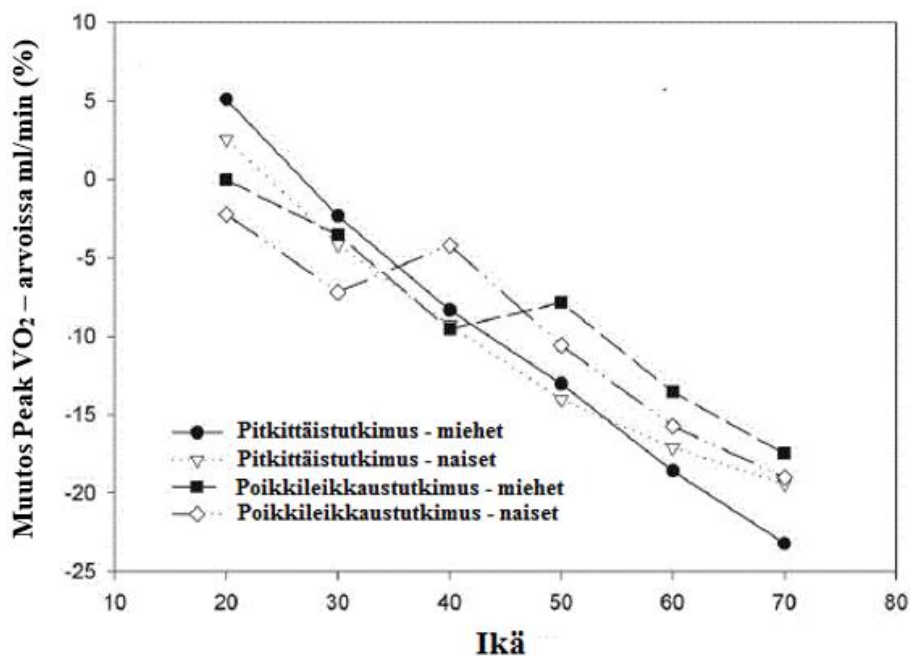
Koska maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat sekä verenkiertoelimistön hapenkuljetuskapasiteetti että lihasten kyky käyttää happea energiantuottoon, se voidaan ilmoittaa suoraan sydämen minuuttitulavuuden (iskutilavuus * syke) sekä valtimon ja laskimon välisen happieron (a- VO_2 -ero) tulona (McArdle ym. 2001, 473; ACSM 2009,72). Maksimaalinen hapenottokyky ilmoitetaan tavallisesti joko absoluuttisena tai suhteellisena arvona; absoluuttisena lukemana tulos annetaan yksikössä litraa per minuutti (l/min) ja suhteellinen arvo yksikössä ml/kg/min (Keskinen ym. 2007, 53).

Maksimaalisesta hapenkulutuksesta puhuttaessa on hyvä erotella toisistaan käsitteet VO_{2max} sekä VO_{2peak} . Tavallisesti tutkimusten yhteydessä käytetään käsitettä VO_{2max} , jos testitilanteessa kaikki mahdolliset maksimaaliselle hapenkulutukselle asetetut kriteerit täyttyvät. Sen sijaan käsite VO_{2peak} viittaa yleensä testitilanteessa saavutettuun hapenkulutuksen huippuarvoon, eli arvoon, josta hapenkulutus lähtee laskuun, mutta täyttää varmuutta maksimaalisesta hapenkulutuksesta ei ole suorituksessa saavutettu. (Day ym. 2003; McArdle ym. 2001, 233.)

2.2 Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavia tekijöitä

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat useat eri tekijät. Seuraavassa käydään läpi tarkemmin eri tekijöiden vaikutusten yhteyttä ja mekanismeja hapenottokykyyn.

Ikä. Maksimaalisen hapenottokyvyn on todettu laskevan iän myötä 20 ikävuodesta alkaen. Nykytiedon mukaan maksimaalinen hapenottokyky laskee keskimäärin 10 % vuosikymmenessä sekä miehillä että naisilla harjoittelusta riippumatta. (Hawkins ym. 2003.) Hapenottokyvyn laskun jyrkkyyden on kuitenkin huomattu vaihtelevan eri ikäkausina terveillä henkilöillä; esimerkiksi Fleg ym. (2005) havaitsivat tutkimuksessaan maksimaalisen hapenottokyvyn laskevan suhteessa enemmän keski-ikäisillä ja sitä vanhemmilla henkilöillä. Tutkimuksessa havaittiin lisäksi miesten hapenottokyvyn laskevan jyrkemmin naisiin verrattuna 40 ikävuodesta ylöspäin, kun tuloksia tarkasteltiin pitkittäisotoksena (Kuva 1).



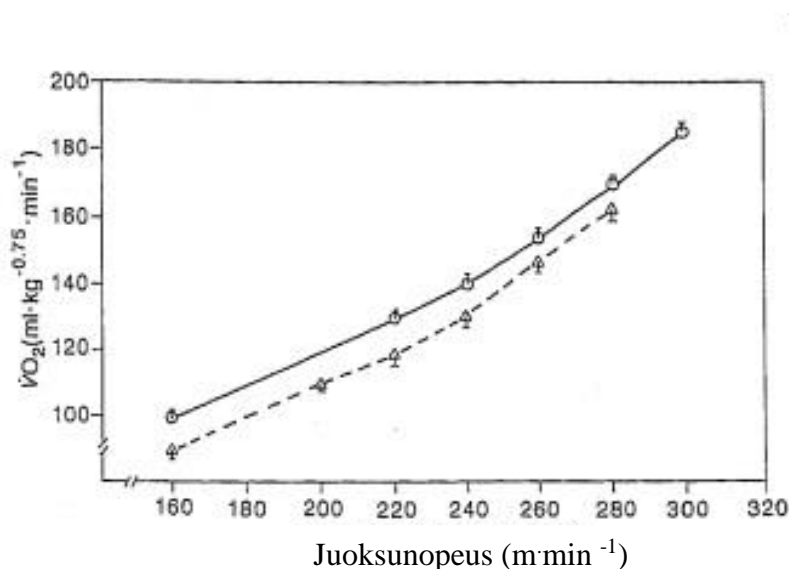
KUVA 1. Ikääntymisen vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn. Kuvassa tulokset on esitetty poikkileikkaus- sekä pitkittäistutkimusten otoksina. Poikkileikkaus- ja pitkittäistutkimukset ovat toteutettu samalle koehenkilöjoukolla. (Mukailtu Fleg, ym 2005.)

Hapenottokyvyn laskun uskotaan johtuvan ikääntymisen myötä tapahtuvasta kehon rasvattoman massan vähenemisestä sekä maksimaalisen sykkeen (HR_{max}) laskusta (Hawkins ym. 2003). On mahdollista, että myös lihasten oksidatiivisen kapasiteetin heikkeneminen iän myötä vaikuttaa hapenottokyvyn laskuun (Betik & Hepple 2008). Pitkittäistutkimusten mukaan säännöllinen ja korkeaintensiteettinen liikunta voisi hidastaa maksimaalisen hapenottokyvyn laskua jopa 50 % nuorilla miehillä ja naisilla sekä keski-ikäisillä miehillä. Keski-ikäisten sekä vanhempien naisten kohdalla säännöllinen liikunta ei sen sijaan ole vaikuttanut hapenkulutuksen laskun jyrkkyyteen. Eroavaisuuksien miesten ja naisten välisissä harjoitusvasteissa uskotaan johtuvan naisten estrogeenin vähenemisestä iän myötä. (Hawkins ym. 2003.)

Perimä. Perimän vaikutusta maksimaaliseen hapenottokykyyn on tutkittu laajalti, mutta sitä, kuinka suuri rooli perimällä on maksimaaliseen hapenottokykyyn, ei ole voitu yksiselitteisesti osoittaa (Bouchard ym. 1998). Ensimmäisissä, perimää ja maksimaalista hapenottokykyä tarkastelleissa kaksostutkimuksissa, todettiin perimän osuuden maksimaaliseen hapenottokykyyn voivan olla jopa yli 90 % (Klissouras 1971). Myöhemmät tutkimukset ovat kuitenkin antaneet hieman maltillisempia lukemia; esimerkiksi Bouchardin ym. (1998) perinnöllisyystutkimuksessa harjoittelemattomille henkilöille perimän osuudeksi saatiin korkeintaan noin 50 %.

Sukupuoli. Miehet saavuttavat korkeampia VO_{2max} -arvoja suhteessa naisiin johtuen suuremmasta lihasmassan määrästä, pienemmästä rasvaprosentista sekä korkeammista hemoglobiiniarvoista. Korkeamman hemoglobiinistatuksen on esitetty johtuvan miesten noin 10–14 % korkeammista testosteronitasoista. Sukupuolten väliset eroavaisuudet hapenkulutuksessa ovat noin 15–20 %, jos tulokset suhteutetaan kehonpainoon. Suurelta osin sukupuolten välinen ero hapenkulutuksessa selittyykin juuri aktiivisen lihasmassan määrällä; suuremmalla lihasmassan määrällä pystytään tuottamaan enemmän energiaa, ja näin ollen myös hapenkulutus on tällöin suurempi. (Keskinen ym. 2007, 53; Helgerud ym. 1994.) Hapenkulutuksessa sukupuolten välillä on eroa maksimiarvojen lisäksi myös submaksimaalisilla intensiteeteillä.

Kuvassa 2 on esitetty kestävyysurheilutaustaisten miesten ja naisten välisiä eroja hapenkulutuksessa suhteessa juoksunopeuteen. (Helgerud ym. 1994.)



KUVA 2. Keskimääräinen hapenkulutus juoksunopeuden funktiona miehillä ja naisilla. Kuviossa naiset on merkitty katkoviivalla. (Mukailtu Helgerud ym. 1994.)

Kuormitusmuoto ja lajispesifisyys. Kuormitusmuodolla on merkittävä vaikutus saavutettuihin VO_{2max} -arvoihin (Millett ym. 2009). On osoitettu, että mitä suurempaa lihasmassaa kuormituksessa joudutaan käyttämään, sen suurempia ovat myös VO_{2max} -arvot. Tästä johtuen juoksumatolla suoritetuissa testeissä hapenkulutus on tavallisesti suurempaa verrattuna esimerkiksi polkupyöraergometrilla tehtyyn kuormitukseen. Tämä korostuu erityisen hyvin harjoittelemattomien henkilöiden kohdalla. Sen sijaan urheilijoiden ja aktiiviliikkujien keskuudessa lajitausta saattaa muuttaa tätä ominaisuutta. Tämä johtuu siitä, että harjoittelun myötä lihasten oksidatiivisessa kapasiteetissa tapahtuu adaptaatiota nimenomaan niissä lihaksissa joihin harjoittelun kuormitus kohdistetaan. (Millett ym. 2009, McArdle ym. 2001, 461; Åstrand ym. 2003, 275.) Lajispesifisyys tulisikin ottaa huomioon testin kuormitusmallia valittaessa, jotta maksimihapenotolle saadaan optimaalinen ja totuudenmukainen tulos.

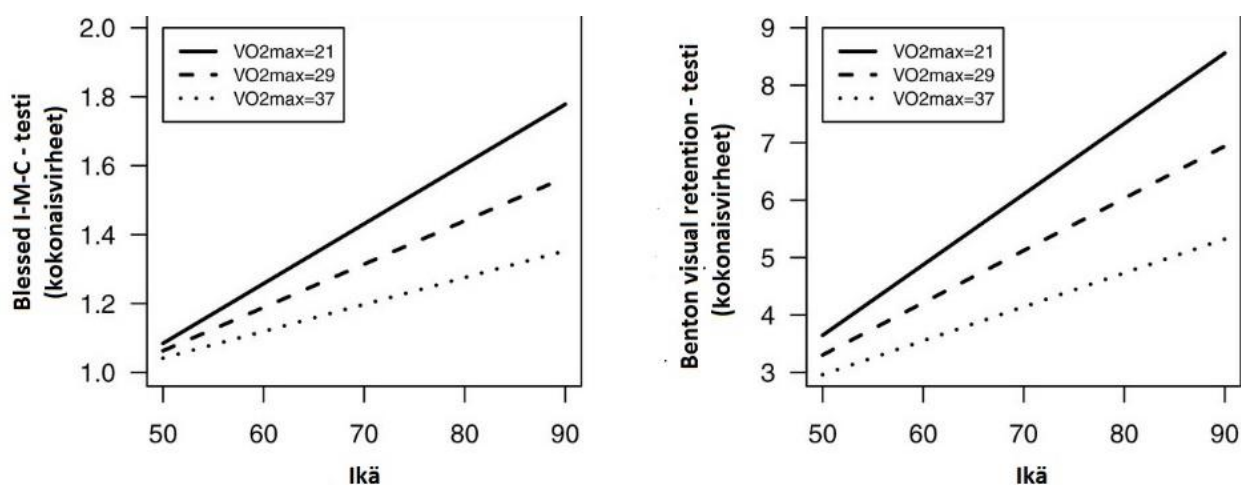
2.3 Maksimaalisen hapenottokyvyn yhteys terveydentilaan

Fyysisen suorituskyvyn merkitys terveydentilalle on havaittu useissa yhteyksissä. Tutkimuksen kohteita ovat olleet esimerkiksi sydänterveys, diabetes mellitus sekä toimintakyky. (mm. O'Neill ym. 2005; Häkkinen ym. 2010; Leite ym. 2009.) Maksimaalista hapenottokykyä käytetään usein aerobisen suorituskyvyn määrittäjänä, ja se kuvastaa usein myös henkilön fyysistä aktiivisuustasoa iästä riippumatta (ACSM, 2009, 71–72; Savonen ym. 2014).

Aerobisella suorituskyvyllä on todettu olevan merkittävä yhteys sydän- ja verisuoniterveyteen. Heikon maksimaalisen hapenottokyvyn on todettu vähentävän elinajan odotetta, ja lisäävän riskiä erityisesti sydänperäisiin kuolemiin. (Savonen ym. 2014; Kodama ym. 2009.) Kodaman ym. (2009) laatimassa meta-analyysissä havaittiin, että 3,5 ml/kg/min parannus maksimaalisessa hapenkulutuksessa laskisi sairastuvuusriskiä sydän- ja verisuonitauteihin 15 prosenttiyksiköllä. Maksimaalinen hapenottokyky linkittyy siis vahvasti sydämen toimintakykyyn, ja tästä johtuen VO_{2max} -arvoa käytetään yleisesti markkerina sydäntautipotilaiden diagnostiikassa ja taudin ennusteen arvioinnissa (Savonen ym. 2014.) VO_{2peak} -arvon avulla voidaan ennustaa taudin etenemistä myös silloin, kun potilaalla on käytössään betasalpaajalääkitys (O'Neill ym. 2005).

Heikko aerobinen suorituskyky näyttäisi lisäävän sydän- ja verisuonitautien tavoin sairastuvuusriskiä myös diabetekseen. Muun muassa Leiten ym. (2009) poikittaistutkimuksessa verrattiin 369 henkilön maksimaalisen hapenkulutuksen arvoja insuliiniresistenssin markkereihin. Tutkimuksessa oli mukana koehenkilöitä, jotka eivät olleet diabeetikoita, mutta heillä oli todettu kohonnut riski sairastua tyyppin II diabetekseen. Mukana oli myös kontrolliryhmä, joiden tuloksia verrattiin korkean sairastuvuusriskin ryhmään. Tulokset osoittivat, että kontrolliryhmässä VO_{2max} -arvot olivat merkittävästi korkeammat. Lisäksi VO_{2max} -arvoilla havaittiin olevan erittäin korkea käänteinen korrelaatio sairastuvuusriskiin ($r = -0.30$, $p < 0.0001$).

Neuropsykologisen toimintakyvyn kannalta hyvä aerobinen suorituskyky vaikuttaisi toimivan suojaavana elementtinä ikääntymisen myötä tapahtuvien kognitiivisten toimintojen heikentymistä vastaan. Tämä ilmiö havaittiin Wendellin ym. (2014) pitkittäistutkimuksessa. Tutkimuksessa mitattiin aluksi koehenkilöiltä lähtötason maksimaalisen hapenottokyvyn arvo, jonka jälkeen tutkittaville suoritettiin kahden vuoden välein erityyppisiä kognitiivista toimintakykyä mittaavia testejä. Tulokset osoittivat lähtötason VO_{2max} -arvon ja kognitiivisten taitojen heikentymisen välillä esiintyvän yhteyden olevan tilastollisesti merkitsevää. Niillä koehenkilöillä, joilla olivat suurimmat lähtötason VO_{2max} -arvot, tapahtui kognitiivisten taitojen laskua iän myötä selkeästi vähiten (Kuva 3). (Wendell ym. 2014.)



KUVA 3. Lähtötason maksimaalisen hapenottokyvyn ja kognitiivisten taitojen välinen yhteys. Kuvassa esitetty informaatiota, muistia ja keskittymiskykyä mittaavan Blessed I-M-C – testin sekä näkömuistia arvioivan Benton Visual Retention – testin ja lähtötason maksimaalisen hapenkuluksen välinen korrelaatio iän funktiona. (Mukailtu Wendell ym. 2014.)

Tutkimusten perusteella aerobinen suorituskyky näyttäisi korreloivan myös paremman elämänlaadun (*health-related quality of life*) sekä elinvoimaisuuden (*vitality*) kanssa (Bennett ym. 2010; Häkkinen ym. 2010; Strijk ym. 2010). Tutkimuksissa elinvoimaisuus käsitteenä on määritelty seuraavasti: henkilö kokee olevansa hyvässä kunnossa sekä fyysisesti että henkisesti. Lisäksi väsymisen aste koetaan matalana ja vastaavasti energiataso korkeana.

Elinvoimaisuuden mittarina voidaan käyttää esimerkiksi RAND 36 – kaavaketta, joka koostuu kysymyksistä, jotka mittaavat energisyyden tasoa. Korkeammilla VO_{2max} -arvoilla näyttäisi tutkimusten perusteella olevan yhteyttä parempaan elinvoimaisuuteen, kun mittauksessa on käytetty RAND 36 – kaavaketta. (Strijk ym. 2010.) Bennettin ym. (2010) tutkimuksessa puolestaan arvioitiin diabeetikoiden sekä kontrolliryhmän elämänlaatua suhteessa heidän rasvaprosenttiin sekä VO_{2peak} -arvoihin. Tulosten perusteella saatiin näyttöä siitä, että korkeampi aerobinen suorituskyky parantaa elämänlaatua enemmän suhteessa rasvaprosentin suuruuteen. Toisin sanoen paremmalla fyysisellä suorituskyvyllä näyttäisi olevan enemmän positiivista merkitystä elämänlaatuun, kuin kehonkoostumuksella ja mahdollisella ylipainolla.

2.4 Maksimaalista hapenottoa rajoittavat tekijät

Alun perin Hill ja Lupton (1923) esittivät, että maksimaaliselle hapenkulutukselle on olemassa fysiologinen yläraja, joka voidaan todentaa maksimaalisessa rasituksessa. Tämän ylärajan olemassaolo on maailmanlaajuisesti hyväksytty, mutta keskustelu siitä, mitkä tekijät todella vaikuttavat fysiologisen ylärajan syntymiseen, jatkuu edelleen aktiivisena (Noakes ym. 2001; Bassett & Howley 2000; Midgley ym. 2007; Mortensen ym. 2005; Brink-Elfegoun ym. 2007).

Hapen kulkeutuminen keuhkoista kudoksiin on moniulotteinen prosessi, ja hapenottokykyä rajoittavien tekijöiden vaikutus voi tapahtua useassa eri vaiheessa. Katsausartikkelissaan Bassett ja Howley (2000) jaottelevat maksimaalista hapenottokykyä rajoittavat tekijät sentraalisiin sekä perifeerisiin tekijöihin; sentraalisiin tekijöihin lukeutuvat sydämen minuuttitilavuus, keuhkojen diffuusiokapasiteetti sekä veren kyky sitoa happea itseensä ja perifeerisiin tekijöihin lukeutuu luurankolihasen kyky hyödyntää happea.

Sydämen minuuttitilavuuden rooli hapenkulutusta rajoittavana tekijänä on tutkimustulosten mukaan kiistaton, sillä minuuttitilavuus määrittää sen, kuinka nopeasti ja millä volyyymillä kudokset saavat happea käyttöönsä (Åstrand ym. 2003, 174; Bassett & Howley 2000).

Minuuttitulavuuden merkitys hapenkulutukselle tulee esille erityisen hyvin tutkimuksissa, joissa on huomattu kestävyysurheilijoiden omaavan huomattavasti suuremman iskutilavuuden VO_{2max} -arvojen lisäksi verrattuna kuntoliikkujiin (Ferguson ym. 2001). Urheilijoiden suuremman iskutilavuuden uskotaan johtuvan siitä, että harjoittelun seurauksena veren laskimopaluu on venyttänyt sydämen seinämää, mikä johtaa voimakkaampaan sydämen supistumiseen. Iskutilavuuden suurenemisen taustalla saattaa olla myös harjoittelun aikaansaama vaikutus diastolisen täyttymisajan pitenemiseen sekä sydämen jäykkyyden vähenemiseen. (McArdle ym. 2001, 472.) Iskutilavuuden on todettu olevan suurinta kuormitusintensiteetillä 40–50 % VO_{2max} -arvosta. Toisaalta on olemassa tutkimusnäyttöä, että iskutilavuus suurensi huomattavasti suuremmille kuormituksen intensiteeteille saakka. (Ferguson ym. 2001; Åstrand ym. 2003, 166.)

Muutokset iskutilavuudessa selittävät pitkälle eroavaisuudet minuuttitulavuuden suhteen myös VO_{2max} -arvoissa, sillä variaatiota maksimaalisen sykkeen osalta ei ole todettu esiintyvän kuin marginaalisesti (Bassett & Howley 2000; Åstrand ym. 2003, 174). Bassettin ja Howleyn (2000) mukaan on arvioitu, että minuuttitulavuudesta riippuvat tekijät selittäisivät kokonaisuudessaan kuitenkin noin 70–85 % maksimaalista hapenkulutusta rajoittavista mekanismeista.

Veren punasolumäärä sekä hemoglobiinikonsentraatio vaikuttavat merkittävästi kudosten hapensaantiin ja tätä kautta myös maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tästä johtuen hapenottokykyä on joissain tapauksissa yritetty nostaa verimanipuloinnin avulla käyttämällä muun muassa erytropoietiini -hormonia. Lisäksi se, kuinka paljon happea saturoituu keuhkojen kaasujenvaihdossa saattaa vaikuttaa rajoittavasti maksimaaliseen hapenkulutukseen. Näin voi käydä esimerkiksi silloin, jos iskutilavuus on erityisen suuri, koska veri ei ehdi voimakkaan kierron vuoksi hapettua täydellä kapasiteetilla keuhkoissa. (Bassett & Howley 2000.)

Luurankoli hasten kykyä käyttää happea hyväksi saattavat rajoittaa muun muassa mitokondrioiden entsyymien taso sekä kapillaarien tiheys; muun muassa Mortensenin ym. (2005) tutkimuksessa huomattiin, että nousevan kuormituksen aikana hapenkulutus

nelipäisessä reisilihaksessa (*quadriceps femoris*) oli lineaarinen tehontuoton kanssa ainoastaan 80 % saakka, kun taas VO_{2max} sekä HR_{max} nousivat lineaarisesti tehontuoton kanssa uupumukseen saakka. Tämä antaisi viitteitä siitä, että hapen kuljetuskapasiteetti lihakseen sekä lihaksen oksidatiivinen kapasiteetti saattavat toimia aerobista suorituskykyä rajoittavana tekijänä.

Yhdeksi hapenkulutusta rajoittavaksi tekijäksi on lisäksi mainittu keskushermoston rooli (Noakes ym. 2001). Noakes ym. (2001) on esittänyt niin kutsutun *central governor* – teorian, jonka mukaan keskushermosto pyrkisi ensisijaisesti suojaamaan sydäntä sekä mahdollisesti myös muita tärkeitä elimiä hapenpuutteelta maksimaalisen rasituksen aikana. Tämän säätelymekanismin johdosta happea kulkeutuu aktiivisille luurankolihasille vain tiettyyn rajaan saakka, jonka jälkeen happimäärä, joka kulkeutuu aktiivisiin luurankolihasiin, tasaantuu. Toisin sanoen, keskushermosto rajoittaa aktiivisen lihasmassan määrää inhiboimalla lihasrekrytointia, jotta perifeerisissä kudoksissa oleva VO_{2peak} -arvo ei ylittäisi tasoa, joka saattaisi vaarantaa tärkeiden elinten riittävän hapensaannin. (Noakes ym. 2001.)

Noakes perustaa teoriansa muun muassa Hillin ja Luptonin (1923) tutkimukseen sekä tutkimusnäyttöön, jossa on todettu, että harjoittelu hypoksia -olosuhteissa alentaa sydämen progressiivista minuuttitulavuutta johtuen pienemmästä valtimoiden happiosapaineesta. Tämä seikka Noakesin mukaan todentaa keskushermoston suojaavaa roolia, sillä harjoittelun korkeassa ilmanalassa tulisi lisätä kudosten hapentarvetta, jolloin minuuttitulavuuden tulisi käytännössä olla suurempi, eikä päinvastoin. (Noakes ym. 2001; Mazzeo ym. 2008.)

Keskushermoston rooli hapenkulutusta rajoittavana tekijänä on kuitenkin saanut osakseen kritiikkiä, sillä väitteen tueksi ei ole olemassa riittävän vahvaa tieteellistä näyttöä (mm. Shephard. 2009). Teoriaa vastustavia tuloksia on saatu esimerkiksi Brink-Elfegoun ym. (2007) tutkimuksessa, jossa tutkittiin sydämeen kohdistuvaa mekaanisen työn määrää sekä maksimaalisessa että supramaksimaalisessa rasituksessa. Molemmissa testeissä koehenkilöt (N=8) saavuttivat samankaltaiset VO_{2max} - sekä HR_{max} -arvot (ero 0.02 l/min, 0.8 b/min). Sen sijaan sekä systolinen että diastolinen verenpaine olivat korkeammat supramaksimaalisessa rasituksessa (19 & 5 mmHg). Tämän kaltaiset muutokset verenpaineessa antoivat näyttöä

siitä, että sydämen mekaanisen työn määrä nousi rasituksen intensiteetin kasvaessa, vaikka hapenkulutus pysyi molemmissa testityypeissä samankaltaisena. Näin ollen tutkimus osoitti, että sydämeen kohdistuva rasitus saattaa vaihdella siitä huolimatta, että VO_{2max} -taso ei muutu.

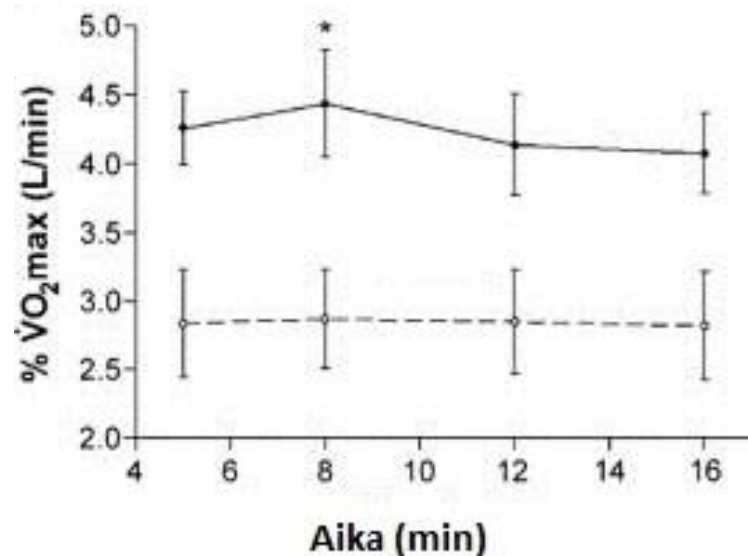
2.5 Maksimaalisen hapenkulutuksen kriteerit

VO_{2max} :in saavuttamiselle on asetettu tiettyjä määrittäjiä ja suuntaviivoja, mutta kuitenkin virallista standardointia kriteerien suhteen ei tällä hetkellä ole. Kriteerit saattavatkin näin ollen jossain määrin vaihdella tutkimuskohtaisesti. (Astorino ym. 2005; Howley ym. 1995.) Yhtenä tärkeimmistä määrittäjistä VO_{2max} :in saavuttamiselle pidetään kuitenkin tasannevaiheen (*plateau*) saavuttamista hapenkulutuksessa. Tasannevaiheella tarkoitetaan hapenkulutuksessa näkyvää selkeää tasaantumista maksimaalisessa fyysisessä kuormituksessa kuormituksen lisääntyessä. (Astorino ym. 2005.) Yleisesti hyväksytty tapa määrittää tasannevaihe on se, että tasannevaiheen aikana vaihteluvälin hapenkulutuksessa tulisi olla yhtä suuri tai pienempi, kuin 150 ml/min (Taylor ym. 1955). Variaatiota tasannevaiheen määrittämisen suhteen kuitenkin esiintyy, ja muun muassa Astorino ym. (2005) suosittaa, että tasannevaiheen määrittämisessä tulisi käyttää tiukempaa hapenkulutuksen vaihteluväliä (esim. < 50 ml/min).

Tasannevaiheen käyttö VO_{2max} :in saavuttamisen määrittäjänä on kuitenkin saanut osakseen arvostelua. Kritiikin lähtökohtana on tasannevaiheen esiintyvyys mittaustilanteissa; on osoitettu, että alhaisimmillaan ainoastaan alle 50 % testattavista henkilöistä todella saavuttaa tasannevaiheen testitilanteessa. Lisäksi variaatiota tasannevaiheen esiintymisen suhteen on esiintynyt iän sekä testiprotokollan mukaan. (Astorino ym 2005; Duncan ym. 1997; Yoon ym. 2007; Howley ym. 1995.) Joissain tutkimuksissa myös harjoittelutaustalla on ollut vaikutusta tasannevaiheen ilmenemiseen. Esimerkiksi Lucía ym. (2006) havaitsi tutkimuksessaan tasannevaiheen esiintyvyyksissä eroja kilpaurheilijoiden ja kontrolliryhmän välillä; huolimatta siitä, että tutkimuksen koehenkilöt saavuttivat kaikki muut tutkimuksen VO_{2max} :in saavutukselle asetetut kriteerit, tasannevaiheen esiintyvyys kilpaurheilijoiden

keskuudessa oli 47 % ja kontrolliryhmässä ainoastaan 24 %. Duncan ym. (1997) toteaa niin ikään, että tasannevaihetta ei voida yksinään pitää VO_{2max} -arvon saavuttamisen määrittäjänä, vaan todentamisessa tulisi enemmän käyttää useamman kriteerin, kuten laktaatin ja hengitysosamäärän eli RER -arvon, täyttymistä testitilanteessa. Lisäksi näytteenottotaajuuksissa eri tutkimusten kesken on esiintynyt variaatiota, joka vaikuttaa myös tasannevaiheen saavuttamiseen; pienemmällä näytteenottotaajuudella saadaan suurempi esiintyvyys tasannevaiheen saavutukselle (Astorino 2009).

Testiprotokollan pituuden vaikutusta saavutettuun maksimaaliseen hapenottoon on myös tutkittu, ja tulokset eivät ole olleet suoraviivaisia. – Yoonin ym. (2007) polkupyöraergometrillä suoritetussa tutkimuksessa lyhyemmällä testiprotokollalla (8 min) saavutettiin korkeampia VO_{2max} -arvoja miespuolisilla koehenkilöillä, vaikka tasannevaiheen esiintyvyysprosentti oli suurempi pidemmissä testiprotokollissa (Kuva 4).



KUVA 4. Eri pituisten testiprotokollien (6 min, 8 min, 12 min, 16 min) vaikutus VO_{2max} -arvoihin. Kuvassa naiset on merkitty katkoviivalla ja miehet mustalla viivalla. (Mukaiilu Yoon ym. 2007.)

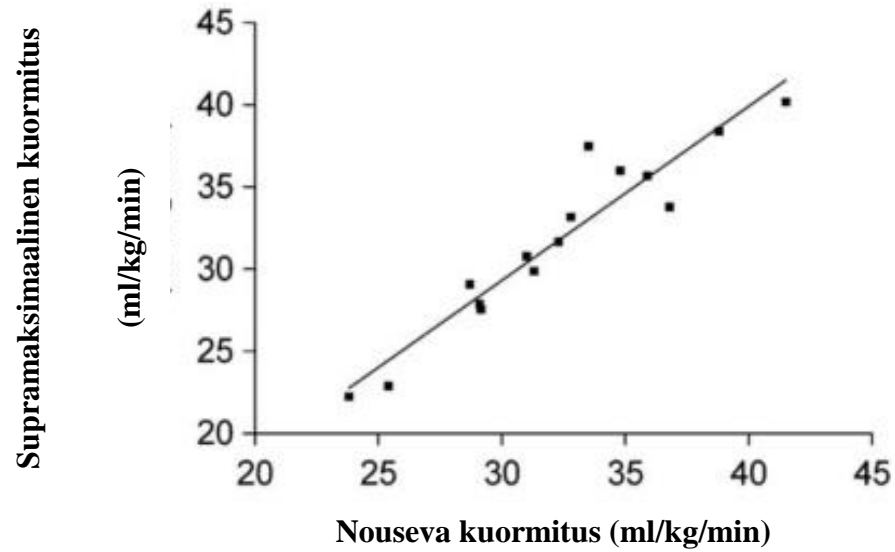
Samassa tutkimuksessa naisille ei kuitenkaan löydetty merkittävää eroa eripituisten testiprotokollien ja maksimaalisen hapenkulutuksen välille. Sukupuolten välisten erojen esitettiin johtuvan naisten alhaisemmasta kuntotaustasta. (Yoon ym. 2007).

Day ym. (2003) esittää tutkimuksessaan näkemyksen siitä, että tasannevaihe olisi alun perin suunniteltu vain tasaisen kuormituksen omaavien testiprotokollatyyppeiden yhteyteen, mistä johtuen sitä ei voitaisi ainakaan suoraviivaisesti soveltaa testeihin, joissa käytetään nousevan ja keskeytymättömän kuormituksen protokollaa. Tämä voisi osaltaan selittää sitä ilmiötä miksi esiintyvyyssprosentti jää melko alhaiseksi useissa tutkimuksissa (mm. Lucia ym. 2006; Yoon ym. 2007).

Hapenkulutuksen tasannevaiheen lisäksi VO_{2max} -tuloksen saavuttamiseksi käytetään myös niin kutsuttuja sekundäärikriteerejä. Yleisimmin käytössä olevat kriteerit VO_{2max} -arvon saavuttamiseksi ovat olleet seuraavat: veren laktaattipitoisuuden tulisi olla suurempi, kuin 8 mmol/l testin päätyttyä, hengitysosamäärän eli RER -arvon tulisi saavuttaa vähintään arvo 1.1 sekä sykkeen tulisi testin päättyessä olla vähintään 85 % iän mukaan lasketusta maksimisykkeestä (Keskinen ym. 2007, 68; Cumming & Borysyk 1972; Howley ym. 1995). Usein käytössä on myös RPE (*Rating of Perceived Exertion*) -kaavake, joka kuvastaa koehenkilön subjektiivisen rasituksen tunnetta. RPE -kaavaketta on jossain määrin arvosteltu sen yksiuotteisuudesta; kaavake ei erottele sitä, mikä kuormituksen rasittavuuden todella aiheuttaa. (Midgley ym. 2007.)

Uudemmissa tutkimuksissa yhtenä kriteerinä on käytetty niin kutsuttua varmistusvaihetta (*verification phase*). Varmistusvaihe tarkoittaa käytännössä nousujohteisen, maksimaalisen kuormituksen jälkeen suoritettavaa lyhyttä ”all out” – suoritusta, jossa kuormituksen suuruus on hieman suurempi, kuin ensimmäisessä testissä saavutettu maksimikuormitus. Toisen kuormituksen tarkoituksena on todentaa, että ensimmäisessä testissä on todella saavutettu maksimaalinen hapenottokyvyn arvo. (Midgley ym. 2007; Astorino ym. 2009; Mier ym. 2012.) Tutkimustulosten perusteella korrelaatio maksimaalisen nousujohteisen kuormituksen sekä varmistusvaiheen välillä on todettu olevan merkittävä muun muassa Mierin ym. (2012) tutkimuksessa (53.6 ± 5.6 vs. 55.5 ± 5.6 ml⁻¹kg⁻¹min) sekä Astorinon ym. (2009)

tutkimuksessa. ($32.32 \pm 4.81 \text{ mL / kg / min}$ vs. varmistus $31.80 \pm 5.35 \text{ mL / kg / min}$) (Kuva 5).



KUVA 5. Korrelaatio VO_{2max} -arvoista nousujohteisen maksimaalisen kuormituksen sekä varmistusvaiheen välillä, merkitsevyystaso $p < 0.05$. Tutkimus suoritettiin henkilöille (N= 15), joilla ei ollut harjoittelutaustaa. Koehenkilöihin kuului sekä miehiä että naisia. (Mukaiu Astorino ym. 2009.)

3 MAKSIMAALISEN HAPENOTTOKYVYN TESTAUS

3.1 Suora VO_{2max} -testi

Suorassa VO_{2max} -testissä hapenkulutusta mitataan suoraan testattavan hengityskaasuista maksimaalisen kuormituksen aikana. Nykyään yleistynyt tapa kerätä hengityskaasuja on niin kutsuttu *breath-by-breath* – menetelmä jossa hengityskaasuja pystytään analysoimaan jokaiselta sykliltä. Menetelmän avulla seurataan hengitetyn ilman happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia, ja hapen kulutus lasketaan sisään- ja uloshengitetyn happitilavuuden erotuksesta. Luotettavan arvion saamiseksi testityypissä tulisi aina käyttää kuormitusta, jossa isot lihasryhmät tekevät työtä. Testityypin valinnassa tulisi lisäksi ottaa huomioon testattavan henkilön harjoittelutausta ja testityypin tulisikin kohdistua samoille lihasryhmille joita harjoittelussa on käytetty. (Åstrand & Rodahl 2003, 273–275; Keskinen ym. 2007, 61–62.)

Suora maksimitesti toteutetaan tavallisimmin nostamalla kuormituksen määrää portaittain testattavan uupumukseen saakka. Testin portaan kesto voi vaihdella 30 sekunnista kolmeen minuuttiin; pitempiä kuormitusportaita käytetään, mikäli testin aikana halutaan määrittää myös testattavan kynnyksarvot. Testi voi sisältää myös muutaman minuutin mittaiset palautustauot kuormitusportaiden väleissä. Näin ollen testin kokonaiskesto voi siis vaihdella huomattavasti. (McArdle ym. 2001, 234; Keskinen ym. 2007, 64; Yoon ym. 2007.)

Osassa uudemmissa tutkimuksista on käytetty perinteisestä poikkeavaa protokollaa, jossa koehenkilöt ovat progressiivisen, portaittaisen kuormitusmallin sijasta saaneet itse säädellä kuormituksen nousun määrää. Tämän kaltaiset kuormitusmallit ovat antaneet ristiriitaisia tuloksia; Maugerin ja Sculthorpen (2012) tutkimuksessa koehenkilöt saavuttivat suuremmat VO_{2max} -arvot valitsemalla itse kuormitusintensiteetit subjektiivisen raskustunteuksen perusteella. Sen sijaan Chidnokin ym. (2013) tutkimuksessa koehenkilöiden itse säädellyn kuormitusmallin VO_{2max} -arvot eivät eronneet perinteisen protokollan tuloksista.

Suoraa VO_{2max} -testiä voidaan pitää erittäin luotettavana, sillä tutkimustulokset ovat osoittaneet testin toistettavuuden olevan merkittävä ($r=0.95$) (Keskinen ym. 2007, 74). Suoran testin onkin todettu soveltuvan hyvin myös klinisiin tutkimuksiin muun muassa sydänperäisten sairauksien seulonnassa (ACSM 2009, 73).

3.2 Epäsuorat testimenetelmät

Epäsuoria maksimaalisen hapenkulutuksen testimenetelmiä on käytetty jo useita vuosikymmeniä suorien maksimitestien rinnalla (mm. Cink & Thomas 1981; Smolander ym. 2011). Vaikka suoran maksimitestin avulla saavutetaan luotettavampi tulos todellisesta VO_{2max} -arvosta, ovat epäsuorat menetelmät joissain yhteyksissä soveltuvampia maksimaalisen hapenottoyvyn mittaamiseen (ACSM 2009, 73). Epäsuorien testien toteuttaminen on tavallisesti kustannuksiltaan pienempää, testeihin liittyvät komplikaatioiden riskit ovat pienemmät ja testit eivät usein vaadi laboratorio - olosuhteita. Mikäli mittaus kohdistuu suureen koehenkilöotokseen, testaaminen saattaa olla huomattavasti yksinkertaisemmin suoritettavissa submaksimaalisella testillä, jolloin siihen tarvitsee myös kohdistaa vähemmän resursseja. (Sartor ym. 2013; Castro-Pinero ym. 2010.)

Epäsuorien testimenetelmien käyttäminen perustuu lähtökohtaisesti sykkeen ja hapenkulutuksen sekä työtehon väliseen lineaariseen suhteeseen submaksimaalisilla kuormilla (Smolander ym. 2011; Bodner & Rhodes 2000). American College of Sports Medicinen (2009, 73–74) mukaan luotettavin tulos submaksimaalisesta testistä saadaan mikäli seuraavat kriteerit täyttyvät:

- Sykkeen ja työtehon välillä on nähtävissä lineaarinen suhde
- Sykkeessä esiintyy *steady state* –tila jokaisella kuormituksen intensiteetillä
- Maksimisyke on yhdenmukainen arvion mukaisen maksimisykkeen kanssa
- Hyötysuhde pysyy samana myös koehenkilöiden välillä

- Koehenkilö ei käytä sykkeeseen vaikuttavaa lääkitystä

Vaikka syke/työteho – suhde toimii perustana VO_{2max} :in arvioimiselle, nykyisissä testimenetelmissä on nähtävissä jonkin verran vaihtelua muiden eri määrittäjien hyödyntämisessä. Arvioinnissa voidaan käyttää mukana esimerkiksi henkilön antropometrisiä ominaisuuksia, kuten rasvaprosenttia, liikunta-aktiivisuutta, henkilön subjektiivista rasituksen tunteen arvioimista RPE -kaavakkeen avulla tai leposykettä. (Smolander ym. 2011; Malek ym. 2004; Sartor ym. 2013; Esco ym. 2011.)

Epäsuorien testien toteutus. Epäsuorat testimenetelmät voivat sisältää joko maksimaalisen tai submaksimaalisen kuormituksen. Testi voidaan myös toteuttaa niin kutsutulla *non exercise* – mallilla, jolloin maksimaalisen hapenkulutuksen arviointi ei sisällä kuormitusta. (Esco ym. 2011; Malek ym. 2004; Keskinen ym. 2007, 80–81.) Tavallisimmat kuormitusmallit kuitenkin toteutetaan juoksumatolla, polkupyöräergometrilla tai askelluspenkin avulla. Myös niin kutsutut kenttätestit ovat yleisessä käytössä. (Sartor ym. 2013; ACSM 2009, 75.) Submaksimaaliset kuormitusmallit voivat olla joko yksi- tai moniportaisia (ACSM 2009, 76). Kuormassa testattavan tulee saavuttaa sykkeessä *steady state* – tila ja näin ollen kuorman pituuden tulee olla riittävän pitkä, jotta sykkeessä ehtii tapahtua tasaantumista. Maksimaalinen hapenkulutus arvioidaan kuormien ja sykkeen kautta käyttämällä apuna regressioyhtälöä tai joidenkin testimenetelmien yhteydessä hapenkulutus arvioidaan nomogrammin avulla. (Keskinen ym. 2007, 86; Cink & Thomas 1981.)

Kuormien intensiteetin valinnassa tulee lisäksi ottaa huomioon parasympaattisen hermoston vaikutus sykkeeseen. Tästä johtuen kuormitusportaiden intensiteetin tulisi alkaa noin 50 % VO_{2max} -arvosta, jolloin parasympaattisen hermoston vaikutukset saadaan minimoitua. (Laukkanen ym. 1998.)

Epäsuoria maksimaalista hapenottokykyä mittaavia testejä on kehitetty lukuisia, ja testimenetelmän valinnassa tulisikin ottaa huomioon useita tekijöitä, jotka vaikuttavat testin

onnistumiseen. Testin tarkkuus ja luotettavuus ovat olennaisesti testin onnistumiseen vaikuttavia seikkoja, ja niitä käsitellään tarkemmin seuraavaksi. Näiden lisäksi valinnassa tulisi kuitenkin ottaa huomioon tekijöitä, jotka on esitetty taulukossa 1. (Sartor ym. 2013).

TAULUKKO 1. Epäsuoran testimenetelmän valinnassa huomioon otettavia tekijöitä (Mukailtu Sartor ym. 2013).

Testattaviin liittyvät tekijät	Testimenetelmään liittyvät tekijät	Testitulanteeseen liittyvät muut tekijät
<ul style="list-style-type: none"> • Kognitiiviset rajoitteet 	<ul style="list-style-type: none"> • Testiltä vaadittava tarkkuus ja toistettavuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Laitteiston saatavuus
<ul style="list-style-type: none"> • Harjoittelutausta 	<ul style="list-style-type: none"> • Testin turvallisuus ja testin vaatima valvonta 	<ul style="list-style-type: none"> • Muut samanaikaiset fysiologiset mittaukset (esim. verenpaine)
<ul style="list-style-type: none"> • Testattavien määrä 	<ul style="list-style-type: none"> • Kohderyhmä, jolle testi on kehitetty 	<ul style="list-style-type: none"> • Testiympäristö
<ul style="list-style-type: none"> • Hengitykseen tai hengitysteihin liittyvät rajoitteet 	<ul style="list-style-type: none"> • Testin kesto 	<ul style="list-style-type: none"> • Pehdyttämiseen vaadittava aika

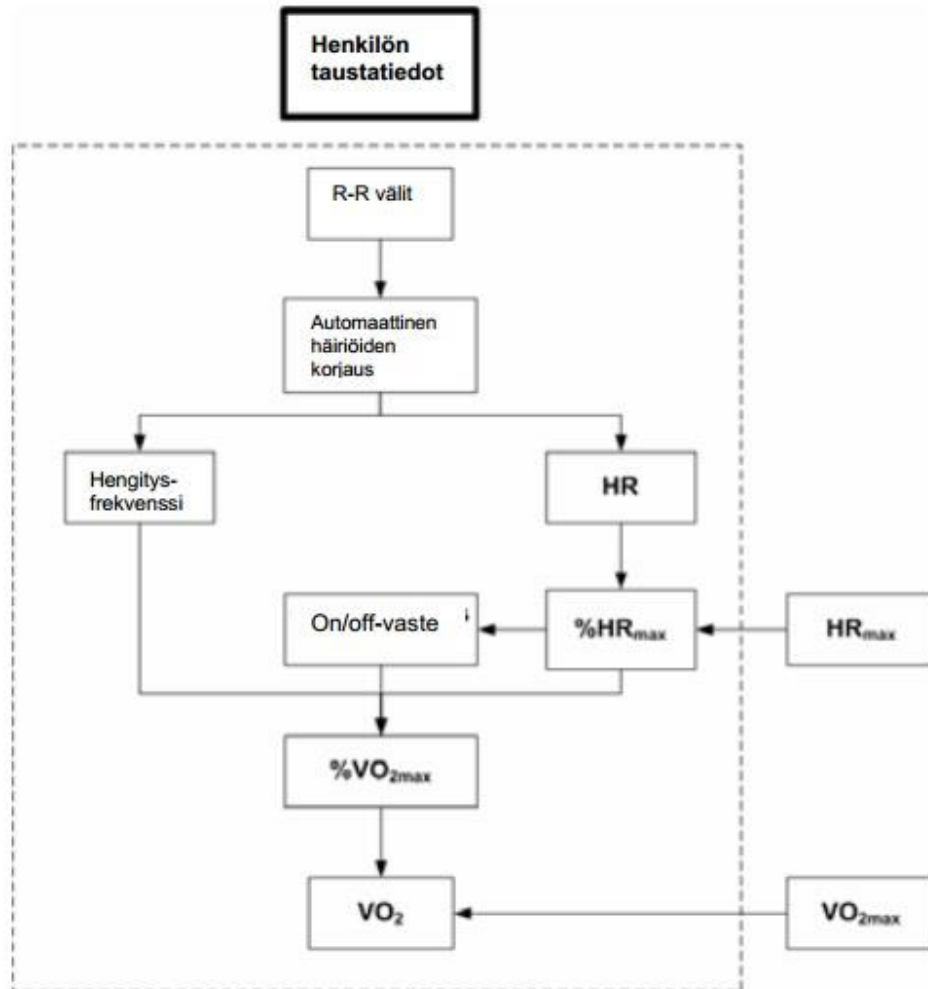
Toistettavuus. Epäsuoralla testimenetelmällä tulisi olla erittäin hyvä toistettavuus erityisesti silloin kun testejä tehdään urheilijoille. Testin tulisi myös ottaa huomioon yksilöiden välillä esiintyvä variaatio fysiologisissa ominaisuuksissa. (Sartor ym. 2013.) Testin toistettavuus asettaakin omat haasteensa tulosten tulkinnassa, sillä esimerkiksi Achtenin ja Jeukendrupin (2003) mukaan pelkästään sykkeen ja hapenkulutuksen väliseen suhteeseen perustuvissa VO_{2max} -arvioissa voi esiintyä vaihtelua todellisesta arvosta jopa 20 %. Virhelähteenä voi olla muun muassa iänmukaisen maksimisykkeen arviointi; Nesin ym. (2013) mukaan nykyisten maksimisykettä arvioivien yhtälöiden keskivirhe on noin 10.8 lyöntiä/min. Lisäksi sykkeessä on todettu esiintyvän päivittäistä variaatiota submaksimaalisilla kuormitustasoilla n. 2–8 %. Kaiken kaikkiaan virhelähteiden määrä submaksimaalisessa testissä on huomattavasti korkeampi verrattuna suoraan testiin. (Keskinen ym. 2007, 82.)

Epäsuorien testimenetelmien luotettavuus. Validointitutkimusten perusteella on saatu näyttöä siitä, että tarkkuus epäsuorissa menetelmissä on keskimäärin noin ± 10 %. Testit, joissa on käytetty maksimaalista kuormitusta, ovat antaneet vertailututkimuksissa tarkempia arvioita verrattuna submaksimaalisiin testeihin. (Keskinen ym. 2007, 79–81) Non exercise – menetelmien on raportoitu antavan arvion noin 10–16 % tarkkuudella (Malek ym. 2004; Esco ym. 2011). Kentällä suoritettavan UKK – kävelytestin tarkkuus osuu melko samoihin lukemiin 11 % keskivirheellä (Zakarias ym. 2003). Sekä yhden että useamman portaan testeissä korrelaatio suoran testin kanssa on vaihdellut 0.59–0.95 välillä (Keskinen ym. 81). Myös Åstram-Ryhmingin nomogrammin luotettavuuden on todettu olevan hyvä, mikäli mukana käytetään ikäkorjauskertoimia ($r = 0.76–0.83$) (Cink & Thomas 1981).

Ergometritestien osalta WHO:n submaksimaalisessa pyöräillen suoritettavassa testissä keskimääräisen eron suoraan testiin on todettu olevan 1,0 ml/kg/min – 5,4 ml/kg/min ($r=0.793–0.916$) ja ACSM:n submaksimaalisen ergometritestin keskivirheeksi on ilmoitettu 15–16 % ($r = 0.863$). (Takalo 2001; Greiwe ym. 1995.)

3.3 Firstbeat - kuntotesti

Firstbeat Kuntotesti on epäsuora testimenetelmä, jonka maksimaalisen hapenkulutuksen arviointi perustuu neuroverkkomallinnukseen. Maksimaalista hapenkulutusta arvioidaan sykkeen, sykevälivaihtelusta määritetyn hengitysfrekvenssin sekä kuormitusvasteen muutoksien perusteella (Kuva 6). Kuormitusvasteella tarkoitetaan niin kutsuttua on/off-vastetta, missä on – vaste viittaa kuormituksen intensiteetin nousun seurauksena tapahtuviin fysiologisiin muutoksiin. Off – vaste sitä vastoin tapahtuu kuormituksen intensiteetin vähentyessä tai kuormituksen päättyessä. Hengitysfrekvenssin mukana olo perustuu siihen, että sen avulla kyetään erottelemaan metaboliset ja ei-metaboliset syketaajuuden muutokset toisistaan. (Firstbeat 2012; Pulkkinen 2003.)



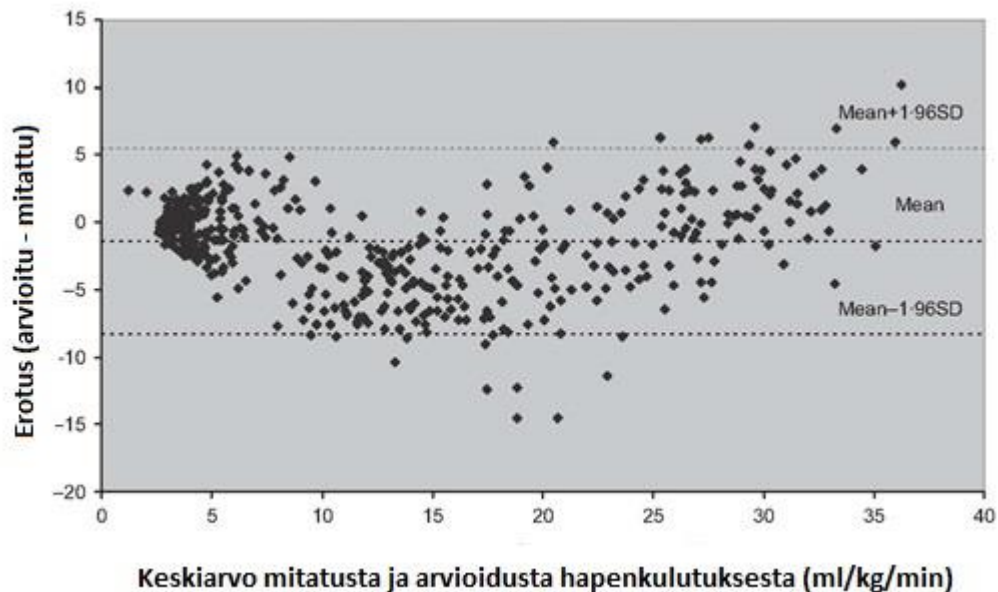
KUVA 6. Firstbeat Kuntotestin toimintaperiaate (Firstbeat 2012).

Kuntotestissä arvio hengitysfrekvenssistä muodostetaan sykevälivaihteludataa hyväksi käyttäen. Pulkisen (2003) mukaan hengitysfrekvenssitiedon hyödyntäminen parantaa hapenkulutuksen arviota noin 48 prosentilla.

Firstbeat Kuntotesti on tarkoitettu kenttätestiksi, ja voidaan toteuttaa monessa eri ympäristössä. Testi voidaan suorittaa juosten, kävellen tai pyöräillen. Testausta varten testattavalta kerätään tiedot iästä, pituudesta, painosta, maksimisykkeestä sekä aktiivisuusluokasta (Liite 1). Juosten tai kävellen suoritettuna testin aikana kerätään

nopeustiedot, ja pyöräilyssä vastaavasti tehontuotto. Testin ajan syketaso on oltava noin 75–80 % maksimisykkeestä vähintään 4 minuutin ajan. (Firstbeat 2012; Firstbeat 2010.)

Firstbeat kuntotestin luotettavuutta on tutkittu muutamissa tutkimuksissa. Smolanderin ym. (2011) tutkimuksessa tarkasteltiin hapenkulutuksen arviota erityyppisten, arkiaskareita simuloivien, tehtävien aikana. Keskimäärin menetelmä aliarvioi hieman todellista hapenkulutusta (estimaatin keskivirhe 3-5 ml/kg/min) (Kuva 7). Brennerin ym. (2011) sekä Karvisen (2014) tutkimuksissa puolestaan tutkittiin menetelmän tarkkuutta maksimaalisen hapenottokyvyn arvioinnissa ja tulokset olivat keskimäärin todellista hapenkulutusta aliarvioivia, kun testit suoritettiin juosten.



KUVA 7. Ero arvioidun ja todellisen hapenkulutuksen välillä Bland-Altman – kaaviolla esitettyinä. Luottamusväli 95 % on $-8.4 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ – $5.4 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$. (Mukaiiltu Smolander ym. 2011.)

4 PYÖRÄILYN FYSIOLOGISIIN VASTEISIIN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

4.1 Pyöräilyn käyttö kuntotestimuotona

Tutkimusnäytön perusteella pyöräily ja juokseminen saattavat antaa jossain määrin erilaisia fysiologisia vasteita sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön osalta, ja tällä saattaa olla merkitystä esimerkiksi vertailtaessa eri kuntotestimuotojen tuloksia keskenään (Taulukko 2). Aikaisemmin tässä katsauksessa on nostettu esille se, että juosten suoritettuna VO_{2max} -arvo on todennäköisesti suurempi verrattuna pyörätesteihin, sillä juostessa aktiivisen lihasmassan määrä on suurempi. (Millet ym. 2009; Åstrand ym. 2003, 274–275.) Tilanne saattaa kuitenkin kääntyä myös toisinpäin, sillä testattavan harjoitustaustalla on merkittävä vaikutus pyöräilyn ja juoksun aikaan saamiin vasteisiin.

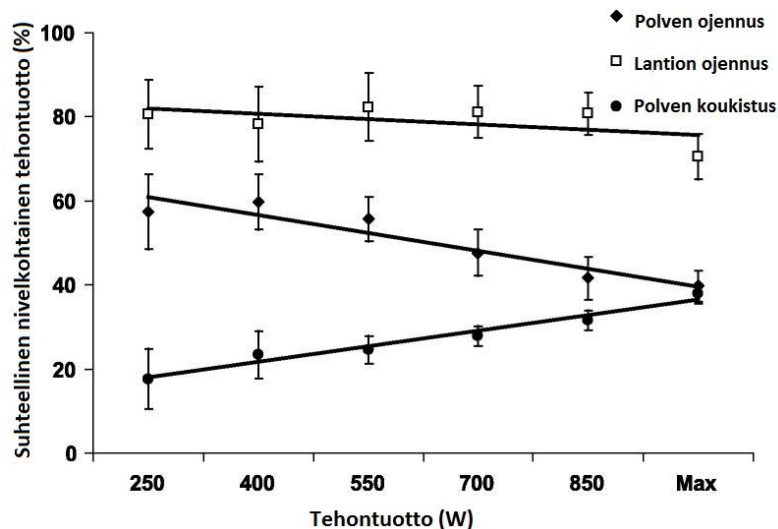
TAULUKKO 2. Pyöräilyn mahdolliset erot juoksuun verrattuna maksimaalisessa kuormituksessa (mukailtu Millet ym. 2009).

Muuttuja	Muutos suhteessa juoksuun	Mahdollinen selittävä tekijä
VO_{2max}	Matalampi	<ul style="list-style-type: none"> Lajispesifisyys Pienempi iskutilavuus
HR_{max}	Matalampi (5 %)	<ul style="list-style-type: none"> Lajispesifisyys
Ventilaatio	Suurempi (pyöräilijät)	<ul style="list-style-type: none"> Erot pallealihasten aktivaatiossa
Anaerobinen kynnys	Matalampi	<ul style="list-style-type: none"> Lajispesifisyys
Iskutilavuus	Matalampi	<ul style="list-style-type: none"> Asento saattaa rajoittaa laskimopaluun kulkua sydämeen, lihaspumpun (<i>muscle pump</i>) toiminta tehokkaampaa juoksussa
Veren volyyymi alaraajoissa	Alhaisempi	<ul style="list-style-type: none"> Juoksu saattaa aiheuttaa inflammaatioreaktion alaraajoissa, jolloin veren volyyymi lisääntyy

Vaikka pyöräily ja juoksu saattavat edellä mainittujen seikkojen vuoksi antaa lähtökohtaisesti erilaisia fysiologisia tuloksia, voi pyöräilyyn liittyvillä muilla seikoilla olla merkitystä saavutettuihin tuloksiin. Seuraavassa tarkastellaan eri tekijöiden yhteyksiä ja vaikutuksia pyöräilyn fysiologisiin vasteisiin.

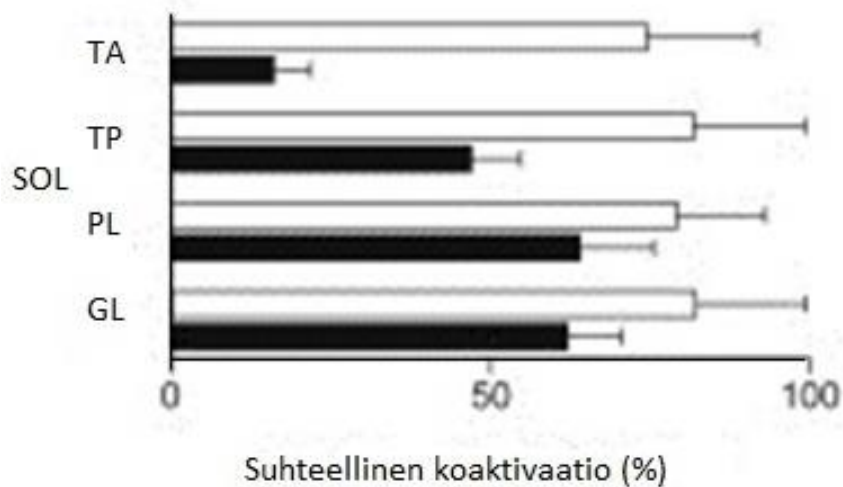
4.2 Alaraajojen lihasaktiivisuuden ja voimantuoton yhteyksiä O2-kinetiikkaan ja tehontuottoon

Pyöräilyssä tapahtuva polkuliike on konsentrista työtä, ja lihastyö kohdistuu suurimmaksi osaksi reiden ja pohkeen alueen lihaksille. Niveliin kohdistuvia voimia (*joint-specific power*) tarkastellessa on huomattu, että submaksimaalisessa kuormituksessa käytetään suhteellisesti enemmän polvenojennusvoimaa. Kuormitusintensiteetin kasvaessa suhteellinen voimantuotto kasvaa polvenkoukistusvoimassa, kun taas polvenojennusvoimassa tapahtuu laskua. Suhteellinen lantioojennusvoima pysyy melko muuttumattomana suhteessa kuormitukseen, mutta sen osuus kokonaisvoimantuotosta on kuitenkin suurin kuormituksen intensiteetistä riippumatta (Kuva 8). (Elmer ym. 2011.)



KUVA 8. Polvenojentajan, polvenkoukistajan sekä lantion ojentajan suhteellinen voimantuotto suhteessa pyöräilyn tehontuottoon. Kuvassa tulokset on esitetty keskiarvoina ja keskiarvon keskivirheenä. (Mukailtu Elmer ym. 2011.)

Lihasktiivisuus. Pyöräilyn aikaista lihasten aktiivisuutta on tarkasteltu useissa eri tutkimuksissa EMG:n avulla. Esimerkiksi Bijker ym. (2002) tutkivat ulomman reisilihaksen (*vastus lateralis*), kaksoiskantalihaksen (*gastrocnemius*) sekä kaksipäisen reisilihaksen (*biceps femoris*) lihasaktiivisuutta submaksimaalisen nousevan kuormituksen aikana, ja tulokset osoittivat lihasaktiivisuuden määrän korreloivan merkitsevästi kuormituksen määrän kanssa kaikissa mitatuissa lihaksissa. EMG - aktiivisuutta tutkimalla on myös pystytty osoittamaan, että kilpapyöräilijöiden sekä pyöräilyä harjoittamattomien henkilöiden välillä esiintyy huomattavaa eroa lihasten rekrytoinnissa sekä lihasaktivaatiossa. Pyöräilyä harjoittamattomien henkilöiden välillä lihasten koaktivaatiossa esiintyi huomattavan paljon enemmän variaatiota (Kuva 9). (Chapman ym. 2008.) Sen sijaan ulomman reisilihaksen (*vastus lateralis*) aktiivisuutta tutkittaessa nousevan kuormituksen aikana huomattiin, että EMG - aktiivisuudelle ei löytynyt merkitsevää korrelaatiota kuormituksen aikaisen hapenkulutuksen tai veren laktaattipitoisuuden kanssa silloin, kun kuormitus tapahtui laktaattikynnyksen yläpuolella (Pringle ym. 2002).



KUVA 9. Esimerkki kilpapyöräilijöiden ja noviisien lihasten EMG -aktiivisuuden koaktivaation eroista. Leveän kantalihaksen (*soleus*) aktivaation aikainen koaktivaatio. Tulokset ovat esitetty keskiarvoina. Novitsit = valkoinen, kilpapyöräilijät = musta (tibialis anterior = TA, tibialis posterior = TP, peroneus longus = PL, gastrocnemius lateralis = GL). (Mukailtu Chapman ym. 2008.)

Voimantuotto. Alaraajojen voimatason kasvulla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta pyöräilyssä saavutettuun VO_{2max} - tai P_{max} -arvoihin pyöräilijöillä tai pyöräilyä harjoittamattomilla henkilöillä (Rutherford ym. 1986; Sunde ym. 2010). Rutherfordin ym. (1986) tutkimuksessa 17 nuorta koehenkilöä suoritti 12 viikon ajan alaraajojen voimaharjoittelua. Koehenkilöiden voimatasoja mitattiin isometrisesti harjoittelujakson ajan 2-3 viikon välein, ja heille suoritettiin maksimaalinen kuormitustesti ennen ja jälkeen harjoittelujakson. Huolimatta voimatasojen kasvusta (3-20 %) merkittävää muutosta ei tapahtunut maksimaalisen hapenkulutuksen tai tehontuoton suhteen. Hieman eriävä tulos saatiin Zoladzin ym. (2012) tutkimuksessa, jossa voimaharjoittelu paransi hieman P_{max} -arvoa VO_{2max} -arvon pysyessä muuttumattomana terveillä mieshenkilöillä. Tämän kaltaisten tutkimustulosten on spekuloitu johtuvan siitä, että lisääntynyt voimantuotto ei suoraan heijastu korkeampina tehontuoton tai maksimaalisen hapenkulutuksen lukemina, jos neuromuskulaarista adaptaatiota ei pyöräilyssä käytettävissä lihaksissa ole tapahtunut (Chapman ym. 2008; Millet ym. 2009). Toisaalta on olemassa näyttöä, että alaraajojen voimantuoton kasvu parantaisi pyöräilyn taloudellisuutta ja hyötysuhdetta sekä kilpapyöräilijöillä että pyöräilyä harjoittamattomilla koehenkilöillä (Sunde ym. 2010; Zoladz ym. 2012).

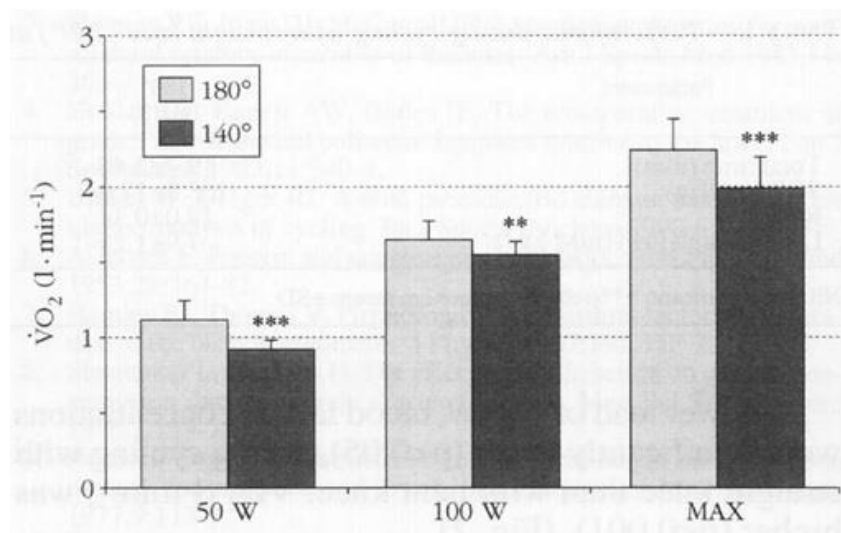
Myöskään suoraa riippuvuussuhdetta alaraajan voimatason ja hapenkulutuksen välille ei ole havaittu; esimerkiksi Vaaran ym. (2012) tutkimuksessa huomattiin, että maksimaalisen hapenkulutuksen ja isometrisen polvenojennusvoiman välillä ei esiintynyt merkittävää yhteyttä, kun asiaa tutkittiin terveillä nuorilla miehillä (N=846). Harjoittelutaustalla ei todennäköisesti ole merkitystä riippuvuussuhteen esiintymiseen, sillä korrelaatiota alaraajojen voimantuoton ja VO_{2max} - eikä P_{max} -arvojen välillä ei ole esiintynyt kilpapyöräilijöidenkään keskuudessa. (Bentley ym. 1998.)

Alaraajojen voimatasoilla ei ole niin ikään löydetty yhteyttä hapenkulutuksen tasannevaiheen esiintymisen kanssa pyörällä suoritetuissa maksimaalisissa rasiustesteissä. Asiaa on tutkittu muun muassa vertailemalla pienemmän alaraajojen voimantuoton omaavien kestävyysurheilijoiden hapenkulutusta amerikkalaisen jalkapallon pelaajiin maksimaalisessa rasiustestissä. Huolimatta siitä, että kestävyysurheilijat saavuttivat merkittävästi suuremmat

suhteelliset $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvot, huomattavia eroja tasannevaiheen esiintyvyydessä ei ryhmien välillä esiintynyt. (Timson ym. 2008.) Myös Astorinon ym. (2005) tutkimustuloksista on nähtävissä, että alaraajojen voimantuotto ei ole selittävä tekijä tasannevaiheen esiintyvyydelle. Todennäköistä on myös, että alaraajojen voimataso suhteessa hapenkulutuksen tasannevaiheen esiintymiseen ei ole ikäsidonnaista, sillä myös vanhempien koehenkilöiden keskuudessa on ollut nähtävissä samankaltaisia tuloksia (Lovell ym. 2011).

4.3 Pyöräilyasento

Tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että pyöräilyasennolla saattaa olla vaikutusta suorituksen aikaiseen hapenkulutukseen, tehontuottoon sekä sykkeeseen (Mandroukas ym. 2000; Millet ym. 2002; Ashe ym. 2003). Mandroukas ym. (2000) tutkimuksessa verrattiin polvikulman vaikutusta maksimaaliseen hapenkulutukseen. Tutkimuksessa koehenkilöt (N=18) suorittivat kaksi maksimitestiä polkupyöräergometrilla polvikulman ollessa ääriasennossa joko 140 tai 180 astetta. Suuremmat $\text{VO}_{2\text{max}}$ -arvot saavutettiin suuremmalla, 180 asteen polvikulmalla (Kuva 10). Tulos osoittaa, että testitilanteissa tulisikin huomioida, että polvi pääsee ojentumaan suoraksi saakka, jotta varmuus maksimisuorituksesta saadaan.



KUVA 10. Hapenkulutus pyöräilyssä 180 asteen sekä 140 asteen polvikulmalla suoritettuna. Merkitsevyystasot ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. (Mukaiilu Mandroukas ym. 2000.)

Selän kulman on niin ikään todettu vaikuttavan sekä maksimaaliseen hapenkulutukseen että tehontuottoon. Kilpapyöräilijöiden käyttämä niin kutsuttu aero -asento, jossa selkä pidetään kyyryssä ja painopiste matalammalla, saattaa pienentää maksimaalista hapenkulutusta asentoon tottumattomalla henkilöllä. Tutkimuksessa, jossa verrattiin selän asennon vaikutusta maksimaaliseen hapenottookykyyn, huomattiin, että selkä suorassa polkeminen antoi suuremmat VO_{2max} -, ventilaatio - sekä HR_{max} -arvot verrattuna aero-asentoon (VO_{2max} 52.85+5.11 vs. 50.25+4.23 p= 0.038*, ventilaatio 130.12 vs.116.65 p= 0.0008* HR_{max} 195.18+4.53 vs. 190.92+3.64 p= 0.015*). (Ashe ym. 2003.) Tämä ilmiö saattaa selittyä sillä, että kumarassa asennossa laskimopaluun virtaus sydämeen saattaa rajoittua (Millet ym. 2009). Seisaaltaan polkemisen vaikutuksia hapenkulutukseen on puolestaan tutkittu sekä tasaisella alustalla että ylämäkipyöräilyssä. Seisoen ja istuen polkemisen välille ei ole tutkimuksissa löydetty merkittäviä eroavaisuuksia VO_{2max} -arvoissa, eikä myöskään polkemisen taloudellisuudessa tai hyötysuhteessa. (Hansen ym. 2008; Millet ym. 2002.) Milletin ym. (2002) tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että submaksimaalisessa kuormituksessa sykelukemat olivat korkeammat ylämäkipyöräilyssä seisaaltaan poljettaessa kadenssin ja tehontuoton ollessa vakioituja.

4.4 Kierrosnopeus

Kun polkemisen kierrosnopeutta kasvatetaan vakiokuormalla, polkemisvastus pienenee. Tutkimusten perusteella on pystytty osoittamaan, että polkemisnopeudella voi olla vaikutusta hapenkulutukseen vakiokuormalla poljettaessa (mm. Nimmerichter ym. 2015). Pyöräilyn kierrosluvun, eli kadenssin, vaikutus kuormituksen hapenkulutukseen ja taloudellisuuteen onkin kerännyt laajaa huomiota ja aiheesta on tehty lukuisia tutkimuksia. Tulokset ovat kuitenkin olleet jossain määrin ristiriitaisia (Millet ym. 2009; Chidnok ym. 2013; Swain ym. 1997).

Optimaalisella kadenssilla tarkoitetaan sitä kierroslukua, jolla suorituksen taloudellisuus on suurinta. Milletin ym. (2009) laatiman kokooma-artikkelin perusteella optimaalisen kierrosluvun on esitetty olevan noin 50–75 kierrosta minuutissa. Käytännössä kuitenkin usein

suositaan huomattavasti korkeampaa kadenssia, noin 80–100 kierrosta minuutissa, jos pyöräilijä saa valita kierrosluvun vapaasti (Marsh & Martin 1995; Millet ym. 2009). Erityisesti kilpapyöräilijöiden keskuudessa korkeat kadenssiluvut eivät ole poikkeuksellisia. On spekuloitu, että käytetyn kadenssin suuruuteen vaikuttaa todennäköisesti suurelta osin harjoittelusta; harjoittelun aiheuttaman adaptaation myötä tapahtuu oppimista tietyille kierrosluvuille. (Marsh & Martin 1997.) Toisaalta myös harjoittelemattomien koehenkilöiden suosimat kadenssit ovat olleet optimaalista kadenssia korkeampia (Marsh & Martin 1995). Syyksi korkeamman kadenssin suosimiseen on esitetty sitä, että se saattaa vähentää niveliin kohdistuvaa kuormitusta. Lisäksi korkeampi kierrosuku mahdollisesti vähentää objektiivista tai subjektiivista hermolihasjärjestelmän väsymistä (Millet ym. 2009).

Kadenssin vaikutus maksimaaliseen hapenkulutukseen on antanut hieman yhteneväisempiä tuloksia verrattuna hapenkulutukseen submaksimaalisilla kuormilla. Chidnokin ym. (2013) tutkimuksessa koehenkilöt (N=7) suorittivat polkupyöräergometrillä maksimaalisia rasiustestejä kolmella eri protokollalla, joissa käytettiin joko samaa kierroslukua, tai koehenkilöt saivat vaihdella kierroslukua koko suorituksen ajan. Merkittävää eroa saavutetuissa VO_{2max} -arvoissa eri protokollien välillä ei löytynyt ($4.33 \pm 0.60 \text{ L min}^{-1}$; $4.31 \pm 0.62 \text{ L min}^{-1}$; $4.36 \pm 0.59 \text{ L min}^{-1}$). Samansuuntaisia tuloksia on saatu, kun on verrattu kierroslukujen vaikutusta VO_{2peak} -arvioihin epäsuorassa testissä; erot hapenkulutuksen arvioissa olivat vain marginaalisia poljettaessa joko intensiteetillä 50 kierrosta minuutissa tai 80 kierrosta minuutissa (Swain ym. 1997).

VO_{2max} -arvojen välisen vaikutuksen yhteyden lisäksi kierrosluvun vaikutusta on tutkittu myös muuhun VO_2 -kinetiikkaan. Tutkimuksessaan Billat ym. (1999) osoitti, että kadenssilla ei ollut vaikutusta hapenkulutuksen hitaan komponentin suuruuteen. Hitaalla komponentilla tarkoitetaan hapenkulutuksen lisäystä suhteessa tehontuottoon tasaisessa kuormituksessa, joka suoritetaan laktaattikynnyksen yläpuolella (Jones ym. 2011). Koeasetelmassa vertailtiin triathlonistien juoksun ja pyöräilyn suhdetta hitaan komponentin suuruuteen kahdella eri askelpituudella sekä kadenssilla. Tulokset osoittivat, että pyöräilyssä on nähtävissä suurempi hapenkulutuksen hidas komponentti verrattuna juoksuun. Sen sijaan askelpituudella tai pyöräilyn kadenssilla ei ollut merkittävää vaikutusta hitaan komponentin amplitudiin.

Pyöräilyn suurempi hidas komponentti saattaa johtua siitä, että anaerobisen kynnyksen ylittyessä lihasrekrytoinnin määrä kasvaa enemmän suhteessa juoksuun (Endo ym. 2007).

Tutkimusten perusteella kadenssilla ei myöskään ole todettu olevan merkittävää vaikutusta kuormituksen aikaansaamaan happivelkaan (*maximal accumulated oxygen deficit*), tai työskentelevien lihasten hapettumiseen submaksimaalisella intensiteetillä (Hill & Vingren 2012; Kounalakis & Genadas 2012). Toisaalta kierrosnopeudella on havaittu olevan yhteys kuormituksen laktaattiarvoihin; Jacobsin ym. (2013) tutkimuksessa huomattiin, että kuormituksen jälkeiset laktaattipitoisuudet olivat suurempia korkeammilla kierrosnopeuksilla, kun pyöräilyt suoritettiin vakioidulla intensiteetillä.

4.5 Ulko- ja sisäpyöräily

Pyöräilyn fysiologisia vasteita tarkasteltaessa on hyvä ottaa huomioon se, missä ympäristössä ja olosuhteissa suoritus tapahtuu. Tutkimusnäytön perusteella laboratorio- ja kenttätestien välisiä eroavaisuuksia on havaittu ainakin hapenkulutuksessa, taloudellisuudessa sekä hyötysuhteessa silloin, kun kuormitusintensiteetit on vakioitu toisiaan vastaaviksi (Kenny ym. 1995; Nimmerichter ym. 2015). Esimerkiksi Kennyn ym. (1995) tutkimuksessa huomattiin hapenkulutuksessa esiintyvän tilastollisesti merkitsevä ero radalla ja laboratoriossa suoritettujen testien välillä, kun kuormitusintensiteetti oli 10 % alle anaerobisesta kynnyksestä.

Osassa tutkimuksista on tarkasteltu eroavaisuuksia polkupyöräergometrin ja tavallisen pyörän välillä. Bertuccin ym. (2012) tutkimuksessa sen sijaan tarkasteltiin pyöräilyn aiheuttamia biomekaanisia ja fysiologisia tapahtumia sekä ulko- että sisäpyöräilyssä, kun testeissä käytettiin samaa pyörää. Koehenkilöt suorittivat pyöräilyjaksoja kolmella eri kierrosnopeudella sekä ulko- että sisätiloissa tasaisella alustalla ja loivaan ylämäkeen. Sisäpyöräilyt suoritettiin laboratoriossa, jossa koehenkilön pyörä oli kiinnitettynä magneettivastukseen. Kuormituksen intensiteetti kaikissa suorituksissa oli noin 10 % alle anaerobisen kynnyksen. Tulosten perusteella pyöräilyn hyötysuhde sekä taloudellisuus olivat

suurempia (+ 12 % ja +11 %) submaksimaalisilla kuormilla ulkona suoritettuna. Hapenkulutus oli keskimäärin 9 % matalampi ulkopyöräilyssä. Taulukoissa 3 ja 4 on eritelty tutkimuksen tulokset.

TAULUKKO 3. Ulko- ja sisäpyöräilyn erot loivaan ylämäkeen (MK = matala kadenssi, KSK= keskisuuri kadenssi, KK= korkea kadenssi). Tulokset on ilmoitettu keskiarvoina ja keskihajontoina. (Bertucci ym. 2012.)

Laboratorio- ja kenttäolosuhteet	Kierrosnopeus (rpm)	Teho (w)	VO ₂ (mlO ₂ *min)	Syke	Hyötysuhde (%)	Taloudellisuus (W*LO ₂ *min)
Laboratorio MK	83±7	239±16	3820 ±233	155±11	17.7±1.1	63 ±4
Kenttä MK	73±12	245±12	3442±316	149±10	20.3±1.6	72±7
Laboratorio KSK	90±6	241±17	3806±232	154±12	17.8±1.2	64±6
Kenttä KSK	80±12	247±15	3596±332	155±10	19.4±1.1	69±6
Laboratorio KK	97±8	239±17	3889±326	157±12	17.3±1.2	62±5
Kenttä KK	86±14	243±15	3554±250	153±11	19.3±1.2	69±5

TAULUKKO 4. Ulko- ja sisäpyöräilyn erot tasaisella maastolla. (MK = matala kadenssi, KSK= keskisuuri kadenssi, KK= korkea kadenssi). Tulokset on ilmoitettu keskiarvoina ja keskihajontoina. (Bertucci ym. 2012.)

Laboratorio- ja kenttäolosuhteet	Kierrosnopeus (rpm)	Teho (w)	VO ₂ (mlO ₂ *min)	Syke	Hyötysuhde (%)	Taloudellisuus (W*LO ₂ *min)
Laboratorio MK	87±7	239±18	3759±179	154±12	18.1±1.1	64±4
Kenttä MK	87±7	240±17	3397±401	148±9	20.6±1.6	71±7
Laboratorio KSK	95±5	239±18	3786±233	155±13	17.8±1.1	64±4
Kenttä KSK	96±8	240±19	3456±314	156±8	19.6±1.5	70±7
Laboratorio KK	103±5	240±17	3965±272	158±12	17.3±1.2	62±4
Kenttä KK	104±9	237±18	3451±384	154±12	19.5±1.9	70±7

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia pyöräillen suoritettavan Firstbeatin kuntotestin luotettavuutta maksimaalisen hapenottokyvyn arvioinnissa eri olosuhteissa. Firstbeat kuntotesti arvioi maksimaalisen hapenottokyvyn käyttäen fysiologisina määrittäjinä sykettä, on/off – vastetta sekä sykevälivaihtelun avulla määritettyä hengitysfrekvenssiä. Kuntotestin luotettavuutta selvitettiin tutkimalla eri kuntotaustan omaavien miesten ja naisten testisuorituksia suoralla maksimihapenottokyvyn testillä sekä epäsuoralla menetelmällä suoritettuna sekä laboratorio-olosuhteissa että kenttätestinä. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin esiintyykö isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välillä tilastollisesti merkitsevää riippuvuussuhdetta.

Tutkimuskysymykset ja hypoteesit:

1. Onko Firstbeat Kuntotesti luotettava menetelmä arvioimaan maksimaalista hapenottokykyä, kun suoritus tapahtuu pyöräillen? Löytyykö suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testin sekä Firstbeat Kuntotestin tulosten välillä tilastollisesti merkitsevää eroa, kun Firstbeat Kuntotesti mittaa tuloksen:

- a.) maksimaalisesta hapenottokyvyn testistä?
- b.) submaksimaalisesta suorituksesta ulkotiloissa?

2. Esiintyykö isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välillä tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota?

Firstbeat Kuntotestin luotettavuutta ei pyöräillen suoritettuna ole aikaisemmin tutkittu, joten luotettavuutta ei voida arvioida aikaisempien tutkimustulosten perusteella. Sen sijaan Firstbeat Kuntotestin on todettu antavan luotettavan tuloksen maksimaalisesta hapenottokyvystä juosten toteuttuna (Brenner ym. 2011). Brennerin ym. (2011)

tutkimuksessa menetelmien välinen erotus oli 4.3–11.7 %, jossa tarkin arvio saavutettiin, kun arviossa käytettiin mukana todellista maksimisykettä. Menetelmän on todettu antavan myös luotettavan estimaation VO_{2max} -arvoista matalilla hapenkulutuksen tasoilla, jossa estimoiduksi keskivirheeksi (*standard error of the estimate, SEE*) ilmoitettiin 3–5 ml/kg/min (Smolander ym. 2011).

Absoluuttista keskivirhettä ei Brennerin ym (2011) tutkimuksessa ole ilmoitettu, mutta Keskisen ym. (2007, 79) mukaan epäsuorien VO_{2max} -testien keskivirhe on noin 10 %. Pohjautuen Brennerin ym. (2011) tuloksiin tämän tutkimuksen hypoteesina on, että pyöräillen suoritettuna menetelmien välinen erotus on korkeintaan 5 %, koska arviossa käytetään mukana todellista maksimisykettä. Lisäksi absoluuttisen keskivirheen (*mean absolute percentage error*) arvioidaan jäävän alle 10 %.

Isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välillä ei ole aikaisemmissa tutkimustuloksissa todettu esiintyvän suoraa riippuvuussuhdetta (mm. Bentley ym. 1998). Myöskään alaraajojen voimaharjoittelun ei ole tutkimuksissa todettu parantavan maksimaalisen tehontuoton arvoja, vaikkakin harjoittelu on joissain tutkimuksissa parantanut pyöräilyn taloudellisuutta (Rutherford ym. 1986; Sunde ym. 2010). Hypoteesina tässä tutkimuksessa on, että maksimaalisen tehontuoton ja isometrisen polvenojennusvoiman välillä ei esiinny tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen rekrytoinnin tavoitteena oli löytää otos koehenkilöitä, joilta löytyisi riittävästi variaatiota liikuntataustan suhteen sekä määrän että lajien osalta. Lisäksi tavoitteena oli rekrytoida sekä miehiä että naisia, jotka edustivat ikäluokkia 20–45. Rekrytointi suoritettiin paikallisissa yrityksissä ja kuntokeskuksissa sekä sähköisesti että ilmoitustaulumainosten avulla. Tutkimukseen osallistuminen edellytti, että koehenkilöiden BMI:n (*Body Mass Index*) tuli olla alle 31, iältään 20–45 vuotta ja koehenkilön tuli olla perusterve. Lisäksi osallistuminen edellytti, että koehenkilö osallistuu kahteen mittaukseen. Tutkimus perustui vapaaehtoisuuteen, joten koehenkilöt olivat näin ollen vapaita jättäytymään tutkimuksesta missä vaiheessa tahansa.

Kaiken kaikkiaan koehenkilöitä löytyi 29 kappaletta, joista miehiä oli 14 ja naisia 15. Ennen testeihin osallistumista kaikki koehenkilöt täyttivät terveystarkastuslomakkeen (Liite 1) sekä koehenkilön suostumuslomakkeen. Terveystarkastuksen tarkoituksena oli varmistaa koehenkilöiden soveltuvuus sekä se, että testien suorittamiselle ei löytynyt kontraindikaatioita. Terveystarkastuslomake ja suostumuslomake joko lähetettiin koehenkilölle etukäteen sähköpostitse tai se täytettiin ennen testiä Vivecan tiloissa. Lomakkeen tulosten perusteella tehtiin päätös koehenkilön osallistumisesta tutkimukseen. Terveystarkastuksen perusteella ei löytynyt esteitä tutkimukseen osallistumiselle, ja näin ollen kaikki ilmoittautuneet hyväksyttiin koehenkilöiksi.

Koehenkilöiden tarkemmat tiedot on koottu taulukkoon 5. Koehenkilöiden kehonkoostumus mitattiin Inbody 720 – bioimpedanssilaitteella (Mega Elektroniikka Oy, Kuopio, Suomi). Mittaus suoritettiin mahdollisimman kevyessä vaatekäsissä.

TAULUKKO 5. Koehenkilöiden perustiedot esitettynä keskiarvoina ja keskihajontoina.

	N	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m ²)
Naiset	15	28,1 ± 5,4	167,0 ± 7,2	62,7 ± 8,6	22,4 ± 2,5
Miehet	14	29,7 ± 4,9	179,7 ± 5,0	78,0 ± 7,5	24,1 ± 2,0

6.2 Koeasetelma

Tutkimuksen protokolla sisälsi kaksi mittauskertaa: Suoran maksimaalisen kuormitustestin sekä epäsuoran submaksimaalisen testin. Maksimaaliset testit suoritettiin laboratoriossa ja submaksimaaliset testit kenttäolosuhteissa normaalin liikenteen seassa. Samana päivänä maksimaalisen testin yhteydessä suoritettiin lisäksi isometrinen polvenojentajan voimantuoton mittaus. Molemmat testit suoritettiin samalla BOSCH Nyon – sähköpyörällä. Kaikkien koehenkilöiden testit suoritettiin heinäkuun ja syyskuun välisenä aikana, jossa submaksimaalisen ja maksimaalisen testien välinen aika oli keskimäärin 16,8 päivää. Testit suoritettiin satunnaistetussa järjestyksessä.

Ennen molempia testejä koehenkilöille lähetettiin sähköpostitse valmistautumisohje molempiin testeihin. Ilmoituksessa ohjeistettiin koehenkilöitä seuraavasti: Koehenkilöiden tuli olla juomatta kahvia ja syömättä kolme tuntia ennen suoritusta, koehenkilön tuli välttää raskasta liikuntaa testiä edeltävänä päivänä ja lisäksi koehenkilön tuli saapua testitilanteeseen hyvin levänneenä ja terveenä. Koehenkilöt saivat lisäksi ohjeistuksen varustautua testiin sopivalla, kiristämättömällä vaatetuksella ja soveltuvilla kengillä.

Mittauksia ennen suoritettiin molempien testiprotokollien pilotointi, jossa tarkistettiin laitteiston toiminta ja varmistettiin protokollien toimivuus. Laboratoriotesteissä oli mukana kaksi testaushenkilöä, joista toisen vastuulla oli testin läpivienti kokonaisuudessaan ja toinen

testaaja toimi kirjaajana. Kenttätesteissä oli mukana yksi testaaja, joka ohjeisti ja valvoi suorituksen kulkua. Laboratoriossa suoritetuissa maksimaalisissa testeissä pyörä oli kiinnitettynä magneettivastukseen, ja Firstbeatin kuntotesti analysoi samanaikaisesti maksimaalista hapenkulutusta. Submaksimaalisessa testissä ei suoritettu samanaikaisesti suoraa testiä.

6.2.1 Suoran VO_{2max} -testin protokolla

Suorat VO_{2max} -testit suoritettiin laboratoriossa Vivecalla, Jyväskylän Yliopiston tiloissa. Ennen testejä koehenkilöt saivat valmistautumisohjeet sähköpostilla ja lisäksi ennen testiä varmistettiin kertaalleen koehenkilön terveydentila. Ennen maksimaalisen testin alkamista koehenkilön paino ja kehonkoostumus mitattiin Inbody 720 – kehonkoostumusanalysointilaitteella. Kehonkoostumusmittauksen jälkeen koehenkilöltä mitattiin isometrinen polvenojennusvoima David 200- penkissä (David Fitness and Medical, Helsinki, Suomi). Mittaukset suoritettiin 90 asteen polvikulmalla ja polvikulma tarkistettiin goniometrin avulla sen jälkeen, kun penkin jalkarullan sekä penkin korkeus olivat säädetty koehenkilölle sopivaksi. Voimantuoton suoritustekniikka ohjeistettiin koehenkilölle. Kevyen lämmittelyn ja liikkeen harjoittelun jälkeen koehenkilöt suorittivat kolme isometristä maksimisuoritusta, joiden välissä pidettiin minuutin palautustauot. Maksimisuoritukset olivat lyhyitä, noin 3–4 sekunnin mittaisia ja koehenkilöitä ohjeistettiin tuottamaan voimaa mahdollisimman nopeasti. Suorituksen aikana testaajat kannustivat voimakkaasti koehenkilöä maksimaalisen suorituksen edesauttamiseksi. Mikäli kolmannessa suorituksessa tapahtui kasvua voimantuotossa, koehenkilö teki vielä neljännen suorituksen. Voimantuoton antaman signaalin lukemat kirjattiin ylös vahvistimesta, ja voimantuotto laskettiin manuaalisesti tarkoitukseen kehitetyn kaavan avulla.

Suora VO_{2max} -testi aloitettiin mittaamalla koehenkilöltä lepoverenpaine koehenkilön istuttua rauhassa tuolilla noin 2–3 minuutin ajan. Verenpaineen mittauksen jälkeen koehenkilölle valittiin sopivan kokoinen hengitysmaski ja kiinnitettiin sykepanta. Koehenkilölle selitettiin testin eteneminen ja protokolla (Liite 2), ja sykemittarin ja sykepannan välinen yhteys tarkistettiin. Tämän jälkeen hengitysmaski kiinnitettiin koehenkilölle ja pyörän satulan

korkeus säädettiin koehenkilölle optimaaliseksi. Hengitysmaski yhdistettiin hengityskaasuanalysointiin ja analysointin antamat lepoarvot tarkistettiin. Lepolaktaattiarvo mitattiin koehenkilöltä sormenpästä ennen testin alkamista.

Testi alkoi testaajan annettua aloituskäskyn 20 Watin aloituskuormalla. Lämmittelyosuus (10 minuuttia) sisällytettiin testiprotokollan yhteyteen. Kuorman intensiteettiä lisättiin kahden minuutin välein 30 Watin koehenkilön uupumukseen saakka. Jokaisen kuorman lopussa koehenkilöä ohjeistettiin näyttämään RPE -taulukosta (*Rating of Perceived Exertion*) luku, joka kuvasti sen hetkistä subjektiivisen rasituksen astetta. Lisäksi koehenkilöä kiellettiin nousemasta satulasta istumisasennosta seisomisasentoon missään vaiheessa testiä. Kierrosnopeuden koehenkilö sai säädellä alhaisemmilla intensiteeteillä itse, mutta noin 200 Watin ylöspäin kierrosnopeuden tuli olla vähintään 80–90 kierrosta minuutissa, jotta magneettivastuksen antama vastus pysyi yllä. Koehenkilö sai halutessaan kuulla testaajilta testin aikana sykkeen ja hapenkulutuksen arvoja. Koehenkilöä kannustettiin voimakkaasti suorituksen ajan maksimaalisen suorituksen aikaansaamiseksi. Koehenkilön saavuttaessa uupumuksen polkemista ohjeistettiin jatkamaan noin 50 Watin intensiteetillä vielä viiden minuutin ajan. Laktaatinäyte otettiin sormenpästä noin 15 sekuntia suorituksen päättymisen jälkeen. Lisäksi koehenkilöltä otettiin hengitysmaski pois mahdollisimman nopeasti suorituksen päättymisen jälkeen.

Testin päättymisen jälkeen hengityskaasuanalysointin keräämä data tallennettiin ja keskiarvoistettiin 30 sekunnin välein ja koehenkilölle kerrottiin saavutettu suorituksen aikainen hapenkulutuksen huippuarvo, maksimaalinen tehontuotto sekä laktaattiarvot. Lisäksi koko suorituksen aikainen sykedata sekä tiedot kierrosnopeudesta, tehontuotosta ja vääntömomentista tallennettiin BOSCHin tietokoneohjelmistolle ja Firstbeat Athlete – ohjelmistoon (Firstbeat Technologies Oy, Jyväskylä, Suomi).

Suoritukselle asetetut maksimaalisen hapenkulutuksen kriteerit olivat seuraavat: hapenkulutuksessa tuli näkyä tasannevaihe kuormituksen intensiteetin kasvusta huolimatta, tai VO_2 -arvossa tuli näkyä selkeä huippuarvo, josta hapenkulutus kääntyy laskuun, suorituksen jälkeisen veren laktaattipitoisuuden tuli olla vähintään 8 mmol/l, RER -arvon

(*Respiratory Exchange Ratio*) tuli olla vähintään 1.15, saavutetun maksimisykkeen tuli olla vähintään 85 % iän perusteella arvioidusta maksimisykkeestä tai vastata koehenkilön aikaisemmin mitattua maksimisykettä ja lisäksi koehenkilöllä tuli olla oma tuntemus siitä, että suoritus oli viety maksimaaliseen suoritukseen saakka.

6.2.2 Submaksimaalisen testin protokolla

Submaksimaaliset testit suoritettiin ulkotiloissa normaalin liikenteen seassa Laajavuoressa, Jyväskylässä. Testi aloitettiin Vivecan laboratoriotiloista, missä koehenkilölle annettiin ohjeistus ja varustus testin suorittamiseen. Pyöräilyreitti oli jaettu osioihin, joista kolme ensimmäistä osiota ajettiin ilman pyörän omaa sähköavustusta ja viimeiset kolme osiota sähköavustuksen kanssa. Toinen ja kolmas osio olivat identtiset neljännen ja viidennen osion kanssa; koehenkilö pyöräili saman reitin ensin ilman sähköavustusta ja tämän jälkeen sähköavustuksen kanssa. Osioden vaihtumisen ajankohta tallennettiin pyöräilyn aikana sykedataan sykemittarin kierros - toiminnon avulla. Toisen ja neljännen osuuden aikana koehenkilölle annettiin ohjeistus pitää syketaso vähintään 75 % maksimista. Muilla osuuksilla sykkeelle ei asetettu rajoja. Koehenkilö sai pyöräilyn aikana säädellä vapaasti vauhtia sekä kierrosnopeutta. Pyöräilyreittiin sisältyi osuuksia, joissa poljettiin sekä loivaan ylämäkeen että alamäkeen. Testin suorittaminen kesti keskimäärin noin 30 minuuttia ja yhdelle osion kesto oli näin ollen noin viisi minuuttia. Testien tekoa pyrittiin välttämään sadesäällä.

Testin aikana sykedata kerättiin sykemittarin avulla. Lisäksi tehontuotto, vääntömomentti, ja kierrosnopeus sekä sykevälivaihtelu tallentuivat automaattisesti pyörän mukana olleeseen tietokoneohjelmistoon. Submaksimaalinen testi päättyi Vivecan laboratoriotiloihin, jossa pyöräilyn aikana kerätyt tiedot tallennettiin ja sykedata purettiin Firstbeat Athlete – ohjelmistoon.

6.3 Tutkimuslaitteisto

Molemmat testit suoritettiin BOSCHin Nyon – sähköpyörällä (BOSCH Oy, Gerlingen, Saksa). Suorissa maksimaalisissa testeissä pyörä oli kiinnitetty Excel – magneettivastukseen (Tacx Oy, Wassenaar, Alankomaat). Ennen jokaista testiä magneettivastus vaati lämmittelypyöräilyä, jotta vastus toimisi optimaalisesti. Testin suorittajat pyöräilivät alhaisella vastuksella noin kymmenen minuutin ajan ennen testien alkua. Magneettivastuksen antaman kuorman suuruutta säädettiin laitteen ohjauspaneelista, johon myös syötettiin koehenkilön paino. Pyörän renkaiden paine säädettiin 6 bariin.

Suorassa maksimaalisessa testissä hengityskaasut kerättiin kannettavalla Oxycon Mobile – hengityskaasuanalysaattorilla (Jaeger Oy, San Diego, USA). Hengityskaasujen keräyksessä käytettiin breath-by-breath – menetelmää. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ennen jokaista testiä tilavuuden sekä kaasujen osalta. Tilavuuden kalibroinnissa käytettiin automaattikalibrointia ja kaasut kalibroitiin seoskaasupullon avulla. Analysaattori määrittäi lämpötilan sekä kosteusprosentin automaattisesti. Laktaattinäytteet kerättiin sormenpäältä Lactate Scout – pikamittarilla (EKF Diagnostics Holdings, Barleben, Saksa) ja sykedata kerättiin Garmin Forerunner 610 – sykemittarilla molemmissa testeissä (Garmin Oy, Schaffhausen, Sveitsi).

Molempien testien aikana pyöräilyn kierrosnopeus, vääntömomentti, teho sekä sykevälivaihtelu kerättiin BOSCHin omalla tietokoneohjelmistolla, joka oli kehitetty kyseiseen validointiprojektiin. Vääntöä mittaava sensori oli sijoitettu pyörän akseliin ja sen tarkkuus oli ± 1 Nm. Kierrosmittari oli sijoitettu pyörän takarengaaseen.

6.4 Tilastolliset analyysit

Tulosten analysoinnissa käytettiin Microsoft Excel 2013 sekä IBM SPSS Statistics (versio 20) – ohjelmia. Microsoft Exceliä käytettiin tulosten kokoamiseen sekä keskiarvojen, keskihajontojen (*standard deviation*), keskiarvon keskivirheen (*standard error of the mean*)

sekä absoluuttisen prosentuaalisen keskivirheen (*mean absolute percentage error*) laskemiseen. SPSS – ohjelmaa käytettiin tilastollisten analyysien tekoon. Aineiston normaalijakautuneisuus tarkistettiin Shapiro-Wilk – testillä ja varianssien yhtäsuuruus tarkastettiin Levenen testillä. Koska aineisto oli normaalisti jakautunut, käytettiin tilastollisessa analyysissä parametrisia testejä.

Riippuvuussuhteita suoran testin ja Firstbeat – kuntotestien välillä tarkasteltiin käyttäen Pearsonin korrelaatiota. Koska pelkästään korrelaatio ei suoraan kerro menetelmien hyvästä vastaavuudesta, tarkasteltiin tuloksia myös Bland-Altman – kaavion avulla. Parittaisten t-testien avulla tarkasteltiin eroavatko testien keskiarvot tilastollisesti toisistaan. Testien antamien tulosten erot ilmoitetaan sekä absoluuttisina että suhteellisina arvoina. Pearsonin korrelaatiota käytettiin lisäksi isometrisen polvenojennusvoiman ja tehontuoton riippuvuussuhteiden tarkasteluun. Kaikkien testien merkitsevyystasoksi asetettiin $p < 0.05$.

7 TULOKSET

Kaikkien koehenkilöiden suorat VO_{2max} -testit saatiin suoritettua protokollan mukaisesti. Yhden koehenkilön kohdalla VO_{2max} -tuloksen katsottiin olevan epäluotettava, sillä hapenkulutuksen tulos saattoi vääristyä hengitysmaskin vuotamisen vuoksi. Tästä johtuen kyseisen koehenkilön tulos jätettiin jatkotarkastelun ulkopuolelle. Kaikkien muiden testihenkilöiden kohdalla saavutettiin niin kutsutut sekundaarikriteerit. Tasannevaihe oli nähtävissä kuitenkin ainoastaan 14 % koehenkilöistä. Keskimääräinen RER -arvo testeissä oli 1,27 ($\pm 0,07$) arvon ollessa alimmillaan 1,13. Selkeä hapenkulutuksen huippuarvo näkyi kaikilla koehenkilöillä. Suorien VO_{2max} -testien tulokset on esitetty taulukossa 6. Suoran VO_{2max} -testin tulokset ovat keskiarvoistettu yhden minuutin tarkkuuteen.

TAULUKKO 6. Suoran VO_{2max} -testin tulokset esitettynä keskiarvoina ja keskihajontoina.

	N	VO_{2max} (ml/kg/min)	Post Laktaatti (mmol/l)	HRmax (b/min)	P_{max} (W)
	28	40,8 \pm 7,5	13,6 \pm 1,4	188,3 \pm 9,6	236,7 \pm 52,4
Naiset	15	37,7 \pm 5,0	13,2 \pm 1,5	186,7 \pm 9,2	197,6 \pm 32,4
Miehet	13	44,7 \pm 8,2	14,0 \pm 1,2	190,1 \pm 10,1	278,9 \pm 33,9

7.1 Suoran VO_{2max} -testin tulokset

Maksimaalisen hapenkulutuksen testissä Firstbeatin kuntotesti antoi tuloksen 22 koehenkilölle. Kuudelle koehenkilölle, kahdelle naiselle ja neljälle miehelle, ei saatu tulosta. Yhdelle koehenkilölle ei saatu tulosta johtuen BOSCH:in ohjelmiston virheestä; tehontuoton

lukemat eivät vastanneet todellisia arvoja. Muiden viiden koehenkilöiden osalta syytä siihen, miksi tulosta ei saatu, ei löytynyt yksiselitteistä vastausta.

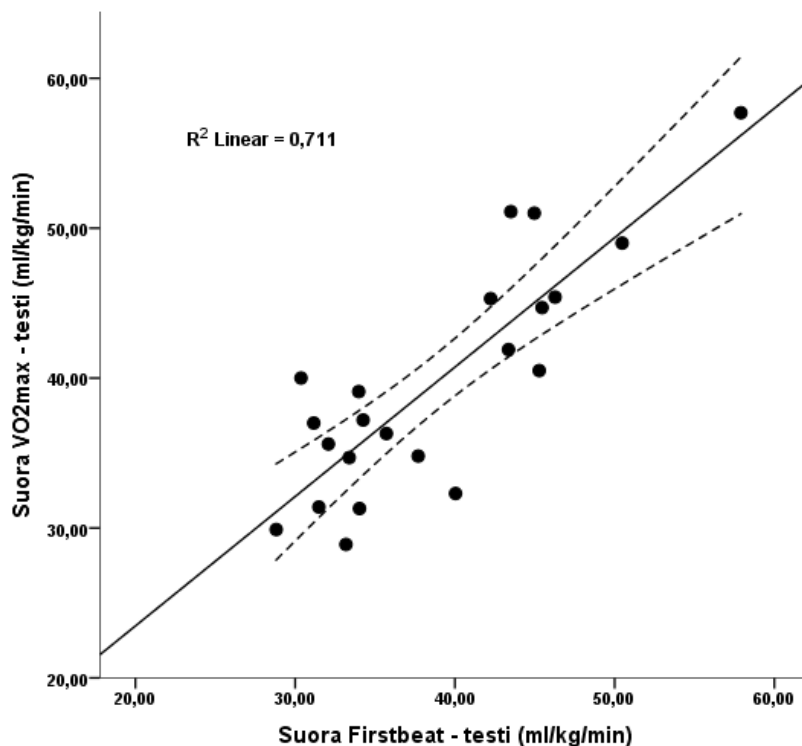
Taulukkoon 7 on koottu tulokset menetelmien välisistä vertailuista. Tuloksia on tarkasteltu sekä koko otoksena että miesten ja naisten ryhminä. Firstbeatin kuntotestin antamien tulosten perusteella testi aliarvioi maksimaalista hapenkulutusta keskimäärin 0,88 ml/kg/min (2,2 %). Parittaisten t-testien avulla tarkasteltuna menetelmien keskiarvojen erojen välillä ei esiinny tilastollista merkitsevyyttä.

TAULUKKO 7. Kehonpainoon suhteutettu maksimaalisen hapenkulutuksen keskimääräinen ero Firstbeatin kuntotestin ja suoran testin välillä. Tulosten ero on esitetty absoluuttisina sekä suhteellisina arvoina.

	Koko ryhmä (N=22)	Miehet (N=9)	Naiset (N=13)
VO_{2max} (mitattu) (ml/kg/min)	39,78	43,42	37,25
VO_{2max} (Firstbeat) (ml/kg/min)	38,89	42,50	36,39
Keskimääräinen ero (ml/kg/min)	0,88 (2,2 %)	0,92 (2,3 %)	0,86 (2,1 %)
Keskiarvon keskivirhe (ml/kg/min)	0,91	1,36	1,27
Keskihajonta (ml/kg/min)	4,28	4,08	4,59
Absoluuttinen prosentuaalinen keskivirhe (%)	8,7	7,3	9,6
T-testi			
Korrelaatio	0.843**	0.909**	0.591*

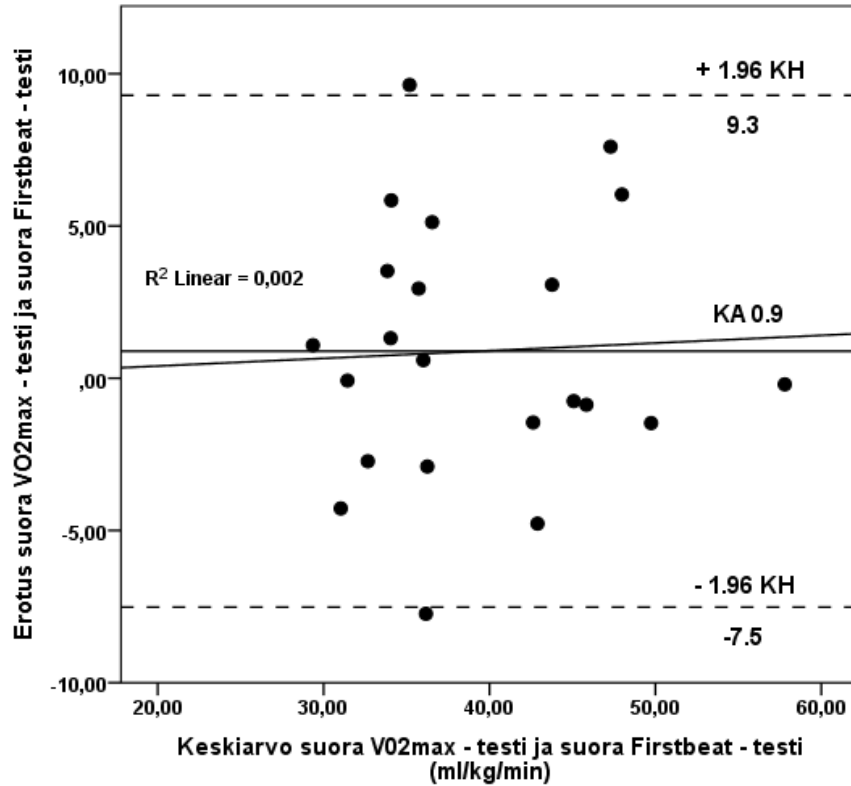
(* $p < 0.5$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Kuvassa 11 on esitetty menetelmien välinen korrelaatio tarkasteltaessa koko koehenkilöotosta. Menetelmien välillä esiintyy merkittävä korrelaatio ($r=0.843$, $p < 0.01$). Tarkasteltaessa korrelaatiota sukupuolittain jaoteltuna, havaitaan ryhmien välillä esiintyvän eroa; korrelaatio testien välillä on suurempi miehillä ($r=0.909$, $p < 0.01$), kuin naisilla (0.591, $p < 0.5$). Korrelaatiokuvaajat miesten ja naisten ryhmistä löytyvät liitteestä 3.



KUVA 11. Korrelaatiokuvaaja suoran VO_{2max} -testin sekä Firstbeatin kuntotestin välillä. Kuvassa katkoviivat rajaavat 95 % luottamusvälit.

Bland-Altman – kuvaajalla tarkasteltuna nähdään, että koehenkilön kuntoluokalla ei tulosten perusteella näytä olevan vaikutusta keskimääräisen eron suuruuteen, sillä tulokset ovat samankaltaiset sekä hyvä- että huonokuntoisilla ($R^2=0,002$). Luottamusväli sijoittuu välille maksimaalisessa testissä – 7,5 ml/kg/min – 9,3 ml/kg/min.. Suorien testien vertailussa kaksi tulosta sijoittuu luottamusvälin ulkopuolelle. (Kuva 12).



KUVA 12. Bland-Altman – kuvaaja suoran VO_{2max} -testin sekä Firstbeatin kuntotestin tuloksista. Kuvassa katkoviivat rajaavat luottamusvälit ($1.96 \times$ keskihajonta). Kuvan keskiviiva ilmoittaa keskiarvon (0.9 ml/kg/min) ja poikkiviiva heteroskedastisuuden ($R^2 = 0.002$).

7.2 Submaksimaalisten kenttätestien tulokset

Epäsuorasta submaksimaalisesta testistä Firstbeatin kuntotesti antoi tuloksen 24 koehenkilölle. Yhdelle koehenkilölle ei saatu tulosta sykedatan kontaktihäiriön vuoksi. Muiden koehenkilöiden osalta syytä sille, miksi tulosta ei saatu, ei pystytty selkeästi osoittamaan.

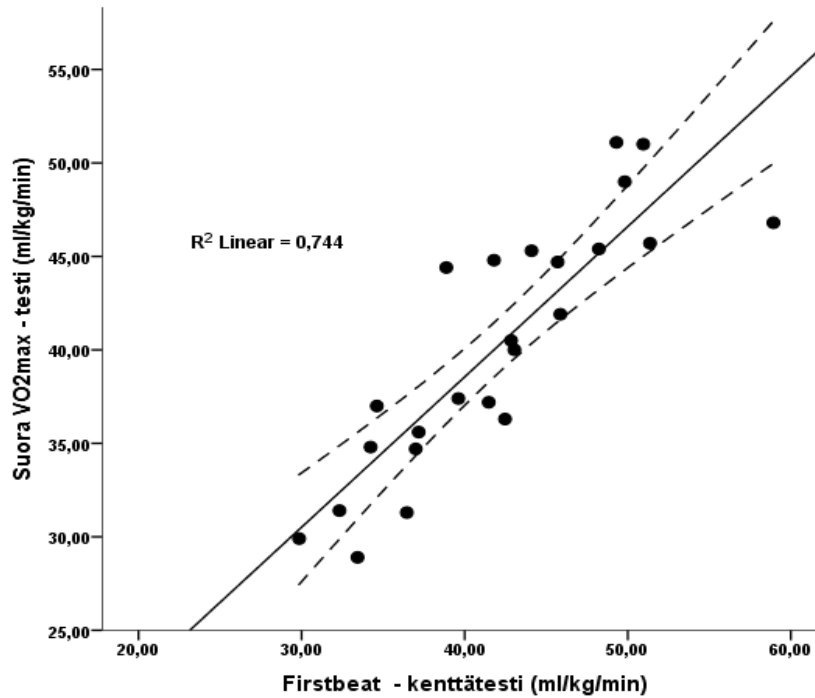
Taulukkoon 8 on koottu tulokset suoran testin ja submaksimaalisen kenttätestin vertailusta. Submaksimaalisessa kenttätestissä Firstbeatin kuntotesti yliarvioi maksimaalista hapenkulutusta keskimäärin 1,85 ml/kg/min (4,6 %). Parittaisten t-testien avulla tarkasteltuna huomataan, että testien keskiarvojen erojen välillä esiintyy tilastollinen merkitsevyys, kun tarkastelussa on koko otantajoukko ($p < 0.05^*$).

TAULUKKO 8. Kehonpainoon suhteutettu maksimaalisen hapenkulutuksen keskimääräinen ero Firstbeatin kenttätestistä antaman arvion ja suoran testin välillä. Tulosten erot on esitetty absoluuttisina sekä prosentuaalisina arvoina.

	Koko ryhmä (N=24)	Miehet (N=11)	Naiset (N=13)
VO_{2max} (mitattu) (ml/kg/min)	40,21	42,76	38,05
VO_{2max} (Firstbeat) (ml/kg/min)	42,05	44,92	39,63
Keskimääräinen ero (ml/kg/min)	- 1,85 (-4,6 %)	- 2,16 (-5,0 %)	- 1,58 (- 4,2 %)
Keskiarvon keskivirhe (ml/kg/min)	0,74	1,27	0,90
Keskihajonta (ml/kg/min)	3,64	4,19	3,24
Absoluuttinen prosentuaalinen keskivirhe (%)	7,7	7,2	8,2
T-testi	$p < 0.05^*$		
Korrelaatio	0.863**	0.864**	0.800**

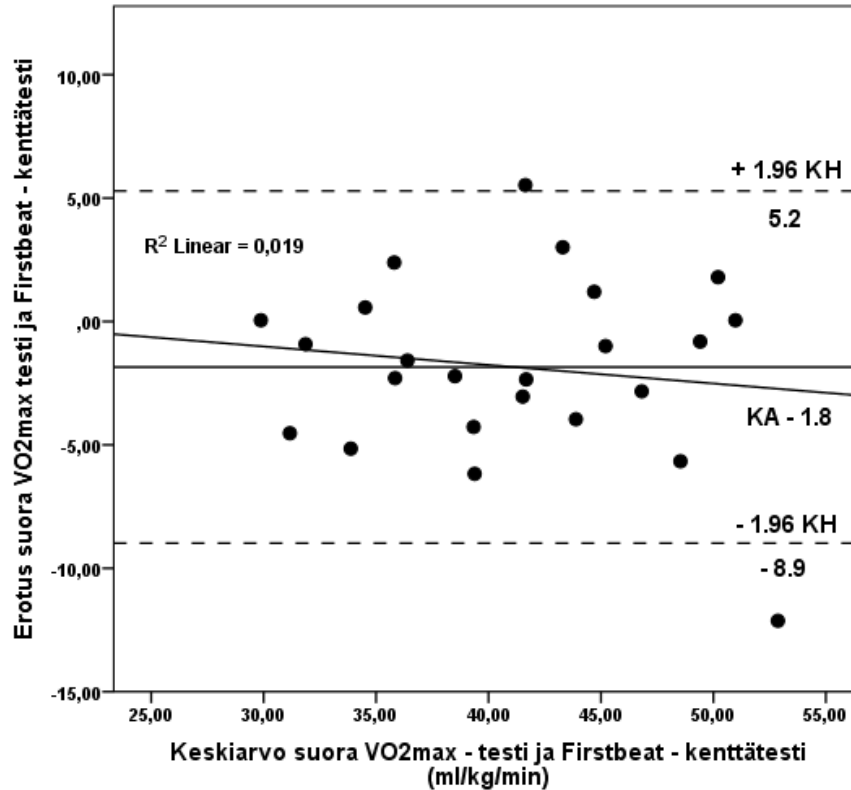
(* $p < 0.5$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

Kuvasta 13 voidaan nähdä, että myös submaksimaalisen ja suoran VO_{2max} -testin välillä esiintyy merkittävä positiivinen korrelaatio ($r = 0.863$, $p < 0.01$). Korrelaatioissa miesten ja naisten ryhmien välillä ei esiinny yhtä suurta eroa verrattuna suorien testien korrelaatioon. Korrelaatio miehillä on 0.864 ja naisilla 0.800. Kenttätestin korrelaatiokuvaajat miesten ja naisten ryhmistä löytyvät liitteestä 4.



KUVA 13. Korrelaatiokuvaaja suoran VO_{2max} -testin sekä Firstbeatin kuntotestin välillä. Kuvassa katkoviivat rajaavat 95 % luottamusvälit.

Tarkasteltaessa tuloksia Bland-Altman – kaaviolla huomataan luottamusvälin asettuvan välille 5.2 ja – 8.9 ml/kg/min (Kuva 14). Tässä testissä kaikki tulokset yhtä lukuun ottamatta osuvat luottamusväliin. Korrelaatiokerroin testien välillä on 0.019 ja merkitsevyystaso 0.614. Myöskään submaksimaalisessa testissä kuntotauustalla ei näytä olevan merkitystä keskimääräiseen eroon suoran testin ja Firstbeatin antaman arvion välillä, eli tulos on niin ikään samansuuntainen kuntotasosta riippumatta ($R^2=0.019$).



KUVA 14. Bland-Altman – kuvaaja suoran VO_{2max} -testin sekä Firstbeatin kuntotestin tuloksista. Kuvassa katkoviiivat rajaavat luottamusvälit ($1.96 \times$ keskihajonta). Kuvan keskiviiva ilmoittaa keskiarvon ($-1,8$ ml/kg/min) ja poikkiviiva heteroskedastisuuden ($R^2 = 0.019$).

7.3 Testien keskinäinen tarkastelu

7.3.1 Molempien testien tarkastelu

Kun molempien testien Firstbeatin antamia maksimaalisen hapenkulutuksen arvioita verrataan suoraan maksimaalisen hapenottokyvyn testiin, huomataan Firstbeatin kuntotestien yliarvioivan tulosta keskimäärin $0,54$ ml/kg/min ($1,3$ %). Taulukkoon 9 on koottu tulokset molempien testien ja suoran VO_{2max} -testin vertailusta. Miesten ja naisten välillä esiintyy selvää eroa sekä korrelaatiossa että keskiarvon keskivirheessä; miehillä keskiarvon keskivirhe on $1,3$ prosenttiyksikköä pienempi naisiin verrattuna, ja korrelaatiokerroin on suurempi.

Parittaisten t-testien avulla tarkasteltuna keskiarvojen eroissa ei esiinny tilastollisesti merkittävää eroa.

TAULUKKO 9. Kehonpainoon suhteutettu maksimaalisen hapenkulutuksen keskimääräinen ero molempien Firstbeatin arvioimien testien ja suoran testin välillä. Tulokset on esitetty absoluuttisina sekä prosentuaalisina arvoina.

	Koko ryhmä (N=46)	Miehet (N=20)	Naiset (N=26)
VO_{2max} (mitattu) (ml/kg/min)	40,00	43,06	37,65
VO_{2max} (Firstbeat) (ml/kg/min)	40,54	43,83	38,01
Keskimääräinen ero (ml/kg/min)	-0,54 (-1,3 %)	-0,77 (-1,8 %)	-0,36 (-0,9 %)
Keskiarvon keskivirhe (ml/kg/min)	0,61	0,97	0,80
Keskihajonta (ml/kg/min)	4,15	4,33	4,09
Absoluuttinen prosentuaalinen keskivirhe (%)	8,2	7,5	8,8
T-testi			
Korrelaatio	0.838**	0.870**	0.684**

(* $p < 0.5$ ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

7.3.2 Firstbeatin testien keskinäinen vertailu

Kun Firstbeatin antamia tuloksia verrataan suoraan keskenään, huomataan, että kenttätetit antavat keskimäärin 3,97 ml/kg/min (9,4 %) korkeammat tulokset verrattuna laboratoriotesteihin (Taulukko 10). Tulosten keskinäiseen vertailuun on sisällytetty ainoastaan niiden koehenkilöiden tulokset, joille saatiin tulokset sekä maksimaalisesta että submaksimaalisesta testistä Firstbeatin kuntotestillä. Testitulosten välillä esiintyy merkittävää korrelaatiota ($r=0.835$, $p < 0.01$). Yksilötasolla tarkasteltuna huomataan, että ainoastaan kahdella koehenkilöllä Firstbeatin antama VO_{2max} -arvo on suurempi laboratoriossa tehdyissä testeissä. Miehillä testien välinen ero on suurempi (9,7 %) verrattuna naisten ryhmään (8,5 %).

TAULUKKO 10. Kehonpainoon suhteutettu maksimaalisen hapenkulutuksen keskimääräinen ero molempien Firstbeatin testituloksien välillä. Erot on esitetty absoluuttisina sekä prosentuaalisina arvoina.

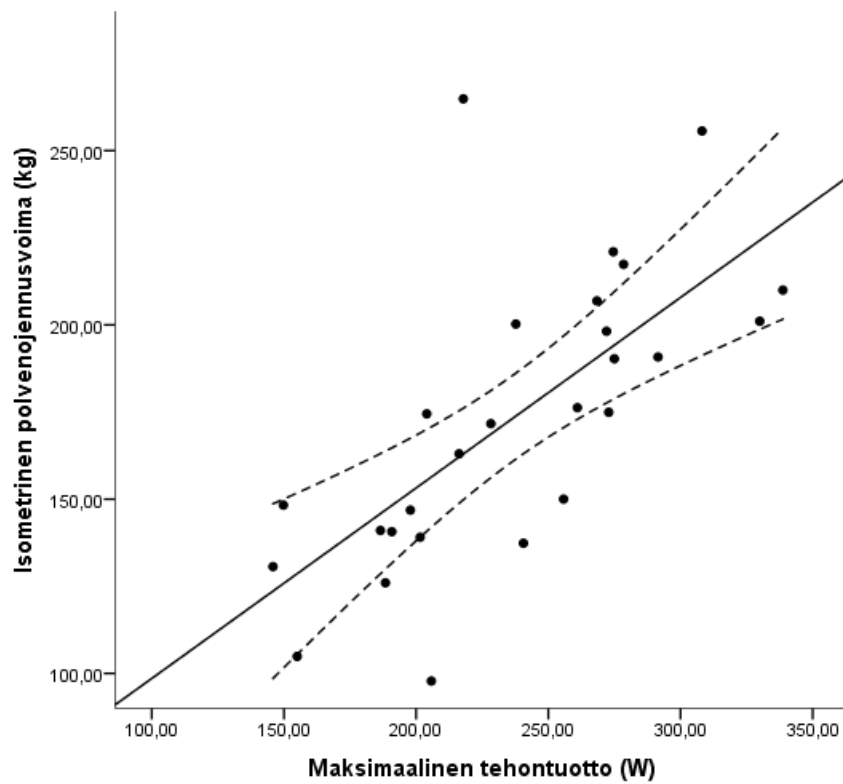
	Koko ryhmä (N=19)	Miehet (N=8)	Naiset (N=11)
VO_{2max} (Firstbeat kenttätesti) (ml/kg/min)	42,06	44,93	39,63
VO_{2max} (Firstbeat laboratoriotesti) (ml/kg/min)	38,09	40,57	36,28
Keskimääräinen ero (ml/kg/min)	3,97 (9,4 %)	4,36 (9,7 %)	3,35 (8,5 %)
Korrelaatio	0.835**	0.915**	0.700**

(* $p < 0.5$ ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$)

7.4 Tehontuotto ja isometrinen polvenojennusvoima

Isometrisen polvenojennusvoiman ja tehontuoton välisessä tarkastelussa on mukana 28 koehenkilöä. Yhdelle koehenkilölle ei saatu tallennettua suoran VO_{2max} -testin aikaisia tehontuoton arvoja johtuen BOSCHin tehontuottoa keränneen järjestelmän häiriöstä.

Isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välinen korrelaatio on esitetty kuvassa 15. Tehontuoton ja polvenojennusvoiman välillä esiintyy tilastollisesti merkittävä korrelaatio ($r=0.684$, $p<0.01$), kun tuloksissa on mukana koko koehenkilöotos. Kun tuloksia tarkastellaan miesten ja naisten ryhmissä, merkittävää korrelaatiota ei esiinny. Miehillä korrelaatiokerroin on -0.127 ja naisilla 0.373 .



KUVA 13. Isometrisen polvenojennusvoiman ja maksimaalisen tehontuoton välinen korrelaatio. Kuvassa katkoviivat rajaavat 95 % luottamusvälin.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella Firstbeatin kuntotestin vastaavuutta suoraan maksimaalisen hapenkulutuksen testiin, kun kuntotestit suoritetaan pyöräillen. Testien vastaavuutta tutkittiin kahdessa eri testiprotokollassa. Laboratoriotesteissä toteutettiin samanaikaisesti suora VO_{2max} -testi sekä Firstbeatin epäsuora maksimaalisen hapenkulutuksen testi. Kenttäolosuhteissa suoritettiin epäsuora submaksimaalinen testi, josta Firstbeatin kuntotesti laski koehenkilöille arvon maksimaalisesta hapenkulutuksesta. Molemmat testit suoritettiin käyttäen samaa pyörää. Firstbeatin antamat VO_{2max} -arvot on laskettu käyttämällä koehenkilöiden mitattua maksimisykettä. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin isometrisen polvenojennusvoiman sekä maksimaalisen tehontuoton välistä riippuvuussuhdetta.

8.1 Maksimaalisen hapenottokyvyn arvioinnin tarkkuus

Tutkimuksen tulosten perusteella Firstbeatin kuntotesti yliarvioi maksimaalisen hapenkulutuksen arvoja keskimäärin 0,54 ml/kg/min (1,3 %), kun tarkasteluun on sisällytetty molempien testitilanteiden tulokset. Kun tuloksia tarkastellaan testikohtaisesti, ovat keskimääräiset erot sekä yli- että aliarvioivia; Firstbeatin kuntotestin antama arvio laboratoriossa suoritettujen testien osalta aliarvioi maksimaalista hapenkulutusta keskimäärin 0,88 ml/kg/min (2,2 %), kun taas kentällä tehdyissä testeissä keskimääräinen ero suoraan testiin on yliarvioiva 1,85 ml/kg/min (4,6 %) erotuksella. Sekä laboratorio- että kenttätestien ja suoran VO_{2max} -testin välillä esiintyy tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r=0.843-0.863$; $p<0.01$), kun tulokset ovat esitetty suhteellisina arvoina (ml/kg/min). Laboratoriossa suoritettujen testien absoluuttinen prosentuaalinen keskivirhe on 8,7 %, joka on noin yhden prosenttiyksikön suurempi verrattuna kenttätestien absoluuttiseen prosentuaaliseen keskivirheeseen. Bland-Altmanin kaavion avulla tarkasteltuna nähdään luottamusvälien olevan melko suuria molemmissa testitilanteissa, mikä viittaa melko suuriin yksilökohtaisiin eroihin (- 7,5 – 9,3 ml/kg/min; - 8,9–5.2 ml/kg/min).

Kun Firstbeatin kuntotestin antamia tuloksia verrataan muihin epäsuoriin kuntotestausmenetelmiin, huomataan sen olevan hieman keskiarvoa tarkempi 8.2 % keskivirheellä. Epäsuorien submaksimaalisten kuntotestausmenetelmien keskivirheen on ilmoitettu olevan noin 10 % (Keskinen ym. 2007, 79). Korrelaatio tässä tutkimuksessa osuu myös epäsuorien tutkimusmenetelmien keskiarvohaarukkaan ($r=0,59-0,95$) (Keskinen ym. 2007, 81). Firstbeatin kuntotesti on suunniteltu UKK:n kävelytestin tavoin kenttäolosuhteisiin sopivaksi. Tämän tutkimuksen mukaan Firstbeatin kuntotestissä keskivirhe jää hieman alhaisemmaksi, kuin UKK:n kävelytestin; esimerkiksi Zakarias ym. (2003) tutkimuksen mukaan UKK:n kävelytestin keskivirhe on noin 11 % (4,6 ml/kg/min) korrelaatiokertoimen ollessa 0.85.

Firstbeatin kuntotestin ja epäsuorien, pyöräillen suoritettaviin, testimenetelmien keskinäinen vertailu osoittaa testin tarkkuuden osuvan keskimäärin samoihin lukemiin WHO:n ergometritestin kanssa; WHO:n submaksimaalisessa ergometritestissä keskimääräinen ero on ollut 1,0 ml/kg/min–5,4 ml/kg/min. ($r=0.793-0.916$). ACSM:n submaksimaalisen ergometritestin keskivirhe sen sijaan jää korkeammaksi (15–16 %, $r=0.863$). (Takalo 2001; Greiwe ym. 1995.)

Firstbeatin kuntotestin luotettavuutta ei ole aikaisemmin tutkittu, kun testimuotona on käytetty pyöräilyä. Juosten suoritettuna kuntotestin luotettavuudesta sen sijaan löytyy tietoa muun muassa Karvisen (2014), Brennerin ym. (2011) ja Paanasen ym. (2011) tutkimuksista. Karvisen (2014) tutkimuksessa todettiin kuntotestin aliarvioivan maksimaalista hapenkulutusta sekä juoksumatto- että kenttätesteissä keskimäärin 1,2–2,5 ml/kg/min (2,49 % – 5,2 %). Myös Brennerin ym (2011) tutkimuksessa huomattiin kuntotestin aliarvioivan VO_{2max} -arvoja keskimääräisen erotuksen ollessa 4,3 – 11,7 %. Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna Firstbeatin kuntotesti näyttää näin ollen arvioivan maksimaalista hapenkulutusta tarkemmin tässä tutkimuksessa, kun tuloksia vertaillaan keskimääräisen erotuksen perusteella. Lisäksi aikaisemmista tutkimustuloksista poiketen tämän tutkimuksen perusteella Firstbeatin kuntotesti yliarvioi kentällä suoritettuja submaksimaalisia testejä (n. 1.85 ml/kg/min). Luottamusvälit olivat tässä tutkimuksessa pienemmät verrattuna Karvisen (2014) tutkimukseen (–7,5–9,3 ml/kg/min; – 8.9–5,2 ml/kg/min vs. – 16 – 23 ml/kg/min). Korrelaatio

suoraan VO_{2max} -testiin Karvisen tutkimuksessa oli kentällä suoritettuna 0.676 ja juoksumatolla 0.614. Tässä tutkimuksessa testien korrelaatio suoraan VO_{2max} -testiin on korkeampi ($r=0.843$ (suora testi) $r=0.863$ (kenttätesti)), kuin Karvisen (2014) testeissä, mutta alhaisempi, kuin Brennerin ym. (2011) tutkimuksessa ($r=0.888 - 0.959$, $p < 0.01$). Paanasen ym. (2011) tutkimuksessa korrelaatio jää alhaisimmaksi juosten tehdyistä tutkimuksista ($r=0.530$).

Tässä tutkimusasetelmassa Firstbeatin antamissa arvioissa käytettiin ainoastaan mitattua maksimisykettä. Aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa huomattiin todellisen maksimisykkeen käyttämisen parantavan Firstbeatin kuntotestin antamaa tarkkuutta merkittävästi (Brenner ym. 2011; Karvinen 2014). Nämä tulokset ovat johdonmukaisia aikaisemman tutkimusaineiston kanssa, sillä maksimisykettä arvioivien yhtälöiden käytön on todettu olevan yksi keskeinen virhelähde epäsuorissa testimenetelmissä (Nes ym. 2012).

Firstbeatin kuntotestin maksimaalisen hapenkulutuksen arvioissa on nähtävissä joitain eroja miesten ja naisten välillä. Firstbeatin kuntotesti arvioi tulosten perusteella tarkemmin miesten maksimaalista hapenkulutusta molemmissa testeissä; laboratoriotesteissä keskiarvon keskivirhe on noin 2,3 prosenttiyksikköä alhaisempi miehillä ja kenttätesteissä eroa keskivirheissä sukupuolten välillä on noin yhden prosenttiyksikön verran. Molemmissa testeissä on nähtävissä, että myös korrelaatio on suurempi miesten ryhmässä (0.909 , $p < 0.01$ & 0.864 , $p < 0.01$ vs. 0.591 , $p < 0.5$ & 0.800 , $p < 0.01$). Sukupuolten välisessä testivertailussa tulee kuitenkin ottaa huomioon ryhmien pieni koko, jolloin yksittäisellä koehenkilön poikkeavalla tuloksella voi olla suuri merkitys kokonaistulokseen. Firstbeatin kuntotestin luotettavuutta ei ole aikaisemmissa tutkimuksissa tarkasteltu sukupuolittain, joten vertailevaa tutkimustietoa ei aiheesta ole tutkimuksen tekohetkellä saatavilla.

Tässä tutkimuksessa ei tulosten perusteella löydetty eroavaisuuksia hyvä- ja huonokuntoisten välillä kummassakaan testitilanteessa, joten Firstbeatin kuntotestin voidaan katsoa antavan yhtä luotettavan arvion kuntotasosta riippumatta. Sama tulos huomattiin myös Karvisen (2014) tutkimuksessa. Eriävä tulos saatiin Brennerin ym. (2011) tutkimuksessa, jonka mukaan kuntotestin tarkkuus olisi pienempi niillä, joiden kuntotaso on välttävä.

Maksimaalisen ja submaksimaalisen testien tulosten keskinäinen vertailu osoittaa, että Firstbeatin kuntotesti antaa koehenkilöille pääsääntöisesti suuremman VO_{2max} -arvion, kun testi suoritetaan kenttäolosuhteissa. Eroa testien välillä on keskimäärin 3,97 ml/kg/min (9,4 %) Eroa esiintyy hieman enemmän miehillä (4,36 ml/kg/min (9,7 %)), kuin naisilla (3,35 (8,5 %)). Testien väliset erot voisivat osittain selittyä ulko- ja sisäpyöräilyn erilaisilla fysiologisilla vasteilla; Bertuccin ym. (2012) tutkimus antaa viitteitä siitä, että pyörällä suoritettujen laboratorio - sekä kenttätestien välillä voi esiintyä eroa taloudellisuudessa sekä hyötysuhteessa. Samalla intensiteetillä poljettaessa, kadenssin ja tehontuoton ollessa vakioituja, hapenkulutus sekä syke ovat olleet alhaisempia kentällä suoritetuissa testeissä verrattuna laboratoriotesteihin. Eroa esiintyi poljettaessa sekä tasaisella alustalla että poljettaessa loivaan ylämäkeen, joskin tutkimuksessa ylämäkipyöräilyssä kierrosnopeudet eivät olleet aivan täysin toisiaan vastaavia. Erot sisä- ja ulkopyöräilyn välillä saattavat johtua siitä, että laboratoriotesteissä magneettivastus rajoittaa pyöräilyn lateraalisuuntaista liikettä, minkä johdosta polkemistekniikka muuttuisi epätaloudellisempaan suuntaan (Bertucci ym. 2012). Tutkimusasetelma Bertuccin tutkimuksessa on ollut osittain samankaltainen tämän tutkimuksen kanssa, sillä laboratoriossa suoritettavat testit toteutettiin magneettivastukseen kiinnitetyllä pyörällä ja kenttätestit samaa pyörää käyttäen. Koska Firstbeatin kuntotesti arvioi maksimaalisen hapenkulutuksen käyttäen hyväksi sykedataa sekä tehontuottoa, voisi sisä - ja ulkopyöräilyn taloudellisuuden ja hyötysuhteen eroilla olla teoriassa vaikutusta testien antamiin erilaisiin arvoihin.

Myös kierrosnopeus on saattanut osaltaan vaikuttaa testitulosten välisiin eroavaisuuksiin. Tämän tutkimuksen kenttätesteissä kadenssia ei vakioitu, eli koehenkilöt saivat suorittaa ulkopyöräilyn haluamallaan kierrosnopeudella. Kierrosnopeudella on joissain tutkimuksissa todettu olevan vaikutusta suorituksen aikaiseen syketasoon submaksimaalisissa testeissä. Korkeamman kierrosnopeuden on havaittu nostavan sykettä korkeammalle tasolle huolimatta siitä, että kuormitusintensiteetti pysyy vakiona. (Nimmerichter ym. 2015.)

Smolanderin ym. (2011) tutkimuksessa Firstbeatin menetelmän havaittiin yliarvioivan sekä hapenkulutusta että hengitysfrekvenssin määrää keskiraskaassa kuormituksessa. Tässä tutkimuksessa kenttätestit antoivat myös pääsääntöisesti yliarvioivan tuloksen

maksimaalisesta hapenkulutuksesta. Koska kuntotestin arviossa käytetään yhtenä määrittäjänä hengitysfrekvenssiä, voisivat laboratorio- ja kenttätestien tulosten eroavaisuudet tässä tutkimuksessa mahdollisesti linkittyä näin ollen myös hengitysfrekvenssiin liittyviin tekijöihin. Esimerkiksi Milletin ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin, että submaksimaalisessa kuormituksessa hengitysrytmissä esiintyi eroja tasaisella maalla pyöräilyn ja ylämäkipyöräilyn välillä, ja lisäksi myös pyöräilyasento vaikutti tutkittavien hengitysfrekvenssiin. Heidän tutkimuksessa koehenkilöiden hengitysfrekvenssi oli suurempi ylämäkipyöräilyssä silloin, kun he polkivat seisaaltaan. Tässä tutkimuksessa kenttätestiin kuului pitkäkö loiva ylämäkiosuus, ja lisäksi koehenkilöiden suoritusapua ei kontrolloitu, joten on mahdollista, että koehenkilöt ovat suorittaneet ylämäkiosuutta myös seisaaltaan polkien. Näin ollen kenttätestin ylämäkiosuus ja pyöräilyasentojen erot testiprotokollissa ovat voineet mahdollisesti vaikuttaa erilaiseen hengitysrytmiin testien välillä.

Tässä tutkimuksessa ei saatu täyttä varmuutta siitä, saavutettiinkö jatkotarkasteluun osallistuneiden koehenkilöiden (N=28) kohdalla todellinen VO_{2max} -arvo suorassa maksimaalisen hapenkulutuksen testissä, sillä tasannevaiheen esiintyminen suorissa maksimaalisissa testeissä oli vain 14 %. Toisaalta tutkimuksessa saavutettiin kuitenkin kaikkien koehenkilöiden osalta niin kutsutut sekundäärikriteerit lukuun ottamatta yhtä RER -arvoa, jossa lukema jäi arvoon 1.13. Lisäksi kaikilla koehenkilöillä näkyi testissä selkeä hapenkulutuksen huippuarvo, josta hapenkulutus lähti laskuun. Aikaisemmissa tutkimuksissa on esitetty, että tasannevaihetta ei välttämättä tarvita maksimaalisen hapenkulutuksen saavuttamisen todentamiseen. (mm. Howley ym. 1995; Yoon ym. 2007; Duncan ym. 1997.) Näin ollen, huolimatta tasannevaiheen matalasta esiintymisestä, tämän tutkimuksen saavutettuja VO_{2max} -arvoja voidaan pitää perusteltuina.

Suoran testin protokollassa Firstbeatin kuntotestin avulla ei saatu arviota maksimaalisesta hapenkulutuksesta kuudelle koehenkilölle. Viiden koehenkilön kohdalla ei kyetty löytämään mitään yksiselitteistä tekijää sille, mikä olisi estänyt arvion toteutumisen, sillä testitilanteet saatiin vietyä läpi protokollan mukaisesti. Kaikki koehenkilöt joille testitulosta ei saatu, olivat kuntotaustaltaan aktiiviliikkujia. Tästä johtuen yhtenä selittävänä tekijänä voisi olla se, että syke ei ole ollut vaaditulla tasolla riittävän pitkää aikaa (>75 % HR_{max}). Näin ollen pitempien

kuormitusportaiden käyttäminen VO_{2max} -testissä olisi mahdollisesti voinut vaikuttaa vähentävästi epäonnistuneiden testitulosten määrään.

8.2 Tehontuoton ja isometrisen polvenojennusvoiman välinen tarkastelu

Isometrisen polvenojennusvoiman sekä suoran VO_{2max} -testin aikana saavutetun maksimaalisen tehontuoton välillä esiintyi tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ($r=0.684$, $p<0.01$), kun tuloksia tarkasteltiin koko ryhmänä. Merkittävää korrelaatiota ei esiinny, kun tulokset jaoteltiin miesten ja naisten ryhmiin. Tulokset ovat jossain määrin eriävät aikaisempien tutkimuksien kanssa, sillä merkittävää korrelaatiota ei alaraajojen voimantuoton ja maksimaalisen tehontuoton välillä ole todettu esiintyvän, joskin alaraajojen voimaharjoittelun on joissain tutkimuksissa todettu parantavan P_{max} -arvoja (Zoladz ym. 2012; Bentley ym. 1998). Tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevän korrelaation esiintyminen voisi selittyä sillä, että tutkimuksen koehenkilöt jakaantuivat melko selkeästi niihin, jotka harrastivat monipuolisesti liikuntaa ja niihin, joilla liikkuminen oli epäsäännöllisempää. Tästä johtuen monipuolinen liikuntatausta sekä vähäisempi liikunnallisuus voisi näkyä maksimaalisen aerobisen kunnon, että voimantuoton tuloksissa lineaarisuutena.

8.3 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet

Tutkimukseen sisältyy virhelähteitä, jotka ovat voineet vaikuttaa mittaustuloksiin. Laboratoriotesteissä virhelähteet liittyvät laitteiston kalibrointien sekä käytettyjen ohjelmistojen epätarkkuuksiin. Keskisen ym. (2007, 61) mukaan hengityskaasuanalysaattoreista johtuva mittausrvirhe voi olla keskimäärin 2 %. Isometrisen polvenojennuksen mittauksessa virhelähteenä voidaan pitää tulosten laskemista manuaalisesti. Lisäksi laboratoriotesteissä käytetyn magneettivastuksen käytössä oli havaittavissa kuormitusportaiden liukumista, minkä johdosta kuormitusportaita ei saatu vakioitua suuremmilla intensiteeteillä. Tästä johtuen on mahdollista, että koehenkilöillä kuormitusportaiden tasot suuremmilla intensiteeteillä eivät ole olleet täysin identtisiä.

Ulkona suoritettujen kenttätestien osalta sääolosuhteilla on voinut olla vaikutusta testituloksiin. Lämpötilassa, tuulen voimakkuudessa sekä ilmankosteudessa esiintyi jonkin verran variaatiota testien välillä (Liite 5). Osa kenttätesteistä suoritettiin yli 20 °C lämpötilassa ja osassa testipäivistä lämpötila jäi alle 10 °C. Kylmän sään on todettu vaikuttavan fyysisen kuormituksen aikaiseen hapenkulutukseen nostavasti. Hapenkulutuksen nousun kylmässä on esitetty johtuvan iskutilavuuden suurenemisesta, kun taas sykkeen osalta muutoksia ei ole havaittu. Kuumalla säällä suoritettavat fyysiset kuormitukset sen sijaan vaikuttavat sykkeeseen nostavasti. (Achten & Jeukendrup, 2003.) Toisaalta sääolosuhteiden vaihtelut jäivät kuitenkin melko maltillisiksi tässä tutkimuksessa, joten suurta vaikutusta mittaustuloksiin ei säällä todennäköisesti ole ollut.

Muita testituloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat olleet joidenkin koehenkilöiden osalta pitkäksi venynyt testien aikaväli, jolloin on teoriassa mahdollista, että koehenkilön kuntotasossa olisi tapahtunut muutosta testien välillä. Kenttätestien osalta myös pyöräilyasennolla on voinut olla vaikutusta testien välisiin eroihin, sillä pyöräilyasentoa ei vakioitu.

Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää koeasetelmaa, koska kenttätestissä pyrittiin mallintamaan kuntotestin käyttöä todellista vastaavissa olosuhteissa. Lisäksi tutkimuksen koehenkilöjoukko koostui eri aktiivisuusluokkien edustajista, jolloin tutkimuksen avulla pystyttiin tarkastelemaan onko tuloksista nähtävissä eroavaisuuksia hyvä- ja huonokuntoisten välillä. Vahvuutena voidaan ajatella myös tulosten tarkastelua naisten ja miesten ryhmäotoksina, sillä kuntotestin luotettavuutta ei ole tiettävästi aikaisemmin tutkittu sukupuolittain.

8.4 Yhteenveto

Firstbeatin kuntotestin voidaan todeta olevan kohtuullisen luotettava menetelmä arvioimaan maksimaalista hapenkulusta pyöräillen suoritettuna ($r=0.838$, keskiarvo 8,2 %), vaikkakin testituloksissa on huomattavissa melko suurta vaihtelua yksilökohtaisesti. Menetelmän voidaan katsoa soveltuvan hyvin kuntoliikkujien kuntotestaukseen. Tutkimuksen päätulokset erosivat aikaisemmin tehdyistä Firstbeatin kuntotestin luotettavuutta tarkastelleista

tutkimuksista siten, että tämän tutkimuksen mukaan testi keskimääräisesti yliarvioi todellista maksimaalista hapenkulutusta. Vertailussa tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että kaikki aikaisemmat tutkimukset on suoritettu juosten. Jatkoa ajatellen olisikin hyvä toteuttaa lisää pyöräillen suoritettavia testejä, jotta nähtäisiin onko tuloksissa havaittavissa samansuuntaisia trendejä tämä tutkimuksen kanssa. Jatkossa tutkimus olisi lisäksi hyvä toteuttaa eri laitteistolla ja mahdollisesti käyttää testeissä pitempiä kuormitusportaita.

LÄHTEET

- Achten, J. & Jeukendrup, A.E., 2003. Heart rate monitoring - applications and limitations. *Sports Medicine* 2003; 33(7): 517-538.
- ACSM – American College of Sports Medicine. 2009. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ashe, M.C., Scroop, G. C., Frisken, P. I., Amery, C. a, Wilkins, M. a, & Khan, K. M. 2003. Body position affects performance in untrained cyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5), 441–4.
- Astorino, T. a. 2009. Alterations in V_Omax and the V_O plateau with manipulation of sampling interval. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 29(1), 60–7.
- Astorino, T. a, White, a C., & Dalleck, L. C. 2009. Supramaximal testing to confirm attainment of V_O2max in sedentary men and women. *International Journal of Sports Medicine*, 30(4), 279–84.
- Astorino, T. A., Willey, J., Kinnahan, J., Larsson, S. M., Welch, H., & Dalleck, L. C. 2005. Elucidating determinants of the plateau in oxygen consumption at V_O2max. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 655–660.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70–84.
- Bennett, W. L., Ouyang, P., Wu, A. W., Barone, B. B., & Stewart, K. J. 2008. Fatness and fitness: how do they influence health-related quality of life in type 2 diabetes mellitus? *Health and Quality of Life Outcomes*, 6, 110.
- Bentley, D. J., Wilson, G. J., Davie, A. J., & Zhou, S. 1998. Correlations between peak power output, muscular strength and cycle time trial performance in triathletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38, 201–207.
- Bertucci, W. M., Betik, A. C., Duc, S., & Grappe, F. 2012. Gross efficiency and cycling economy are higher in the field as compared with on an Axiom stationary ergometer. *Journal of Applied Biomechanics*, 28, 636–44.

- Betik AC & Hepple RT. 2008. Determinants of VO₂ max decline with aging: an integrated perspective. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*.33(1):130-40.
- Bijker, K. E., de Groot, G., & Hollander, A. P. 2002. Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 556–561.
- Billat, V. L., Mille-Hamard, L., Petit, B., & Koralsztein, J. P. 1999. The role of cadence on the VO₂ slow component in cycling and running in triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 20, 429–437.
- Bodner, M.E. & Rhodes, E.C. 2000. A review of the concept of the heart rate deflection point *Sports Medicine*. 30(1):31-46.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Wilmore, J. H. 1998. Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 252–258.
- Brenner, K., Korhonen, A. & Laakso, N. 2011. Sykettä elämään – sykevälivaihteluun perustuvan kuntotestin luotettavuuden arviointi. Turun ammattikorkeakoulu. Fysioterapian koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Brink-Elfegoun, T., & Kaijser, L. 2007. Maximal oxygen uptake is not limited by a central nervous system governor. *Journal of Applied Physiology*, 781–786.
- Castro-Piñero, J., Artero, EG., Espan˜a-Romero, V., Ortega, FB., Sjostrom, M., Suni, J & Ruiz JR. 2010. Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*. 44: 13, P: 934-43.
- Chapman, A. R., Vicenzino, B., Blanch, P., & Hodges, P. W. 2008. Patterns of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18, 359–371.
- Chidnok, W., Dimenna, F. J., Bailey, S. J., Burnley, M., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. 2013. VO₂max is not altered by self-pacing during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 529–39.
- Cink, R. E., & Thomas, T. R. 1981. Validity of the Astrand-Ryhming nomogram for predicting maximal oxygen intake. *British Journal of Sports Medicine*, 15, 182–185.
- Cumming, G. R. and L. M. Borysyk. 1972. Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 4:18-22.

- Day, J. R., Rossiter, H. B., Coats, E. M., Skasick, A., & Whipp, B. J. 2003. $\dot{V}O_2$ during exercise in humans : The maximally attainable $\dot{V}O_{2peak}$ vs $\dot{V}O_{2max}$ issue. *Journal of Applied Physiology*. 95(9), 1901–1907.
- Duncan, G. E., Howley, E. T., & Johnson, B. N. 1997. Applicability of $\dot{V}O_{2max}$ criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 273–278.
- Elmer, S. J., Barratt, P. R., Korff, T., & Martin, J. C. 2011. Joint-specific power production during submaximal and maximal cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1940–7.
- Endo M.Y., Kobayakawa M., Kinugasa R., Kuno S., Akima H., Rossiter H.B., Miura A. & Fukuba Y. 2007. Thigh muscle activation distribution and pulmonary $\dot{V}O_2$ kinetics during moderate, heavy, and very heavy intensity cycling exercise in humans. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 293(2):R812-20.
- Esco MR, Mugu EM, Williford HN, McHugh AN & Bloomquist BE. 2011. Cross-validation of the polar fitness test™ via the polar f11 heart rate monitor in predicting $\dot{V}O_2$ max. *Journal of Exercise Physiologyonline*. 14(5):31–37.
- Ferguson, S., Gledhill, N., Jamnik, V.K., Wiebe, C. & Payne N. 2001. Cardiac performance in endurance-trained and moderately active young women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 33(7):1114-9.
- Fleg JL., Morrell CH., Bos AG., Brant LJ., Talbot LA., Wright JG. & Lakatta EG. 2005. Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation*. 112: 5, P: 674-682
- Firstbeat Technologies Ltd. 2012. $\dot{V}O_2$ Estimation Method Based on Heart Rate Measurement. White paper.
- Greiwe JS, Kaminsky LA, Whaley MH & Dwyer GB. 1995. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating $\dot{V}O_{2max}$. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Sep;27(9):1315-20
- Hansen, E. A., & Waldeland, H. 2008. Seated versus standing position for maximization of performance during intense uphill cycling. *Journal of Sports Sciences*, 26, 977–984.

- Hawkins, S., & Wiswell, R. 2003. Rate and mechanism of maximal oxygen consumption decline with aging: implications for exercise training. *Sports Medicine*, 33(12), 877–88.
- Helgerud, J. 1994. Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68, 155–161.
- Hill, A. V. & Lupton, H. 1923. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Quarterly Journal of Medicine*, 16, 135-171
- Hill, D.W. & Vingren, J.L. 2012. The effect of pedalling cadence on maximal accumulated oxygen deficit. *European Journal of Applied Physiology*. 112(7):2637- 43.
- Howley E.T., Bassett D.R. & Welch H.G. 1995. Criteria for maximal oxygen uptake:review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27:1292–01.
- Häkkinen, A., Rinne, M., Vasankari, T., Santtila, M., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. 2010. Association of physical fitness with health-related quality of life in Finnish young men. *Quality of Life Research : An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 19(4), 611.
- Jacobs, R., Berg, K., Slivka, D. R. & Noble, J. M. 2013. The Effect of Cadence on Cycling Efficiency and Local Tissue Oxygenation. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 27(3):637-42.
- Jones, A. M., Grassi, B., Christensen, P. M., Krustup, P., Bangsbo, J., & Poole, D. C. 2011. Slow component of VO₂ kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(11), 2046–62.
- Kenny, G.P., Reardon, F.D., Marion, A. & Thoden, J.S. 1995. Comparative analysis of physiological responses at submaximal workloads during different laboratory simulations of field cycling. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 71(5):409-15.
- Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. 2. painos Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura, 78–103.
- Klissouras, V. 1971. Heritability of adaptive variation. *Journal of Applied Physiology*. 31:338-344.

- Kodama S., Saito K., Tanaka S., Maki M., Yachi Y., Asumi M., Sugawara A., Totsuka K., Hitoshi Shimano H., Ohashi Y., Yamada, N. & Sone Y. 2009. Cardiorespiratory Fitness as a Quantitative Predictor of All-Cause Mortality and Cardiovascular Events in Healthy Men and Women: A Meta-analysis. *JAMA*. 301(19):2024-2035.
- Kounalakis, S.N. & Geladas, N.D. 2012. Cardiovascular drift and cerebral and muscle tissue oxygenation during prolonged cycling at different pedalling cadences. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 37(3):407-17.
- Laukkanen R.M.T., Maijanen S., Tulppo M. 1998. Determination of heart rates for training using Polar smartedege heart rate monitor. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 30: 251.
- Leite, S. A., Monk, A. M., Upham, P. A., & Bergenstal, R. M. 2009. Low cardiorespiratory fitness in people at risk for type 2 diabetes: early marker for insulin resistance. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 1, 8.
- Lovell, D., Cuneo, R., Delphinus, E. & Gass, G. 2011. Leg strength and the VO₂ max of older men. *International Journal of Sports Medicine*. 32(4):271-6.
- Lucía, A., Rabadán, M., Hoyos, J., Hernández-Capilla, M., Pérez, M., San Juan, A. F. & Chicharro, J. L. 2006. Frequency of the VO₂max plateau phenomenon in world-class cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 27(12), 984–92.
- Mandroukas, K., Angelopoulou, N., Christoulas, K. & Vrabas, I. S. 2000. Cardiorespiratory and metabolic responses during straight and bent knee cycling. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 40(2):145-9.
- Malek, M. H., Berger, D. E., Housh, T. J., Coburn, J. W., & Beck, T. W. 2004. Validity of VO₂max equations for aerobically trained males and females. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1427–1432.
- Marsh, A. P., & Martin, P. E. 1995. The relationship between cadence and lower extremity EMG in cyclists and noncyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 27, pp. 217–225).
- Marsh, Anthony P.; Martin, Philip E. 1997. Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. Vol. 29(9), pp 1225-1232.

- Mauger, A. R., & Sculthorpe, N. 2012. A new VO₂max protocol allowing self-pacing in maximal incremental exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 46(1), 59–63.
- Mazzeo, R. S. 2008. Physiological responses to exercise at altitude: an update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 38, 1–8.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2001. *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5. painos. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., & Marchant, D. 2007. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(12), 1019–28.
- Mier, C. M., Alexander, R. P., & Mageean, A. L. 2012. Achievement of VO₂max Criteria During a Continuous Graded Exercise Test and a Verification Stage Performed by College Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Millet, G. P., Tronche, C., Fuster, N., & Candau, R. 2002. Level ground and uphill cycling efficiency in seated and standing positions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 1645–1652.
- Millet, G. P., Vleck, V. E., & Bentley, D. J. 2009. Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(3), 179–206.
- Moilanen, P. 2014. Kannustin, koriste vai kuntoilijan kaveri? - Liikuntateknologia on yhä useamman arkea. *Liikunta & Tiede* 51: 5/2014.
- Mortensen, S. P., Dawson, E. A., Yoshiga, C. C., Dalsgaard, M. K., Damsgaard, R., Secher, N. H., & González-Alonso, J. 2005. Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. *The Journal of physiology* (Vol. 566, pp. 273–285).
- Nes, B. M., Janszky, I., Wisløff, U., Støylene, a, & Karlsen, T. 2013. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23, 697–704.
- Nimmerichter, A., Prinz, B., Haselsberger, K., Novak, N., Simon, D. & Hopker J. G. 2015. Gross efficiency during flat and uphill cycling in field conditions. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 10(7):830-4.

- Noakes, T. D., Peltonen, J. E., & Rusko, H. K. 2001. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *The Journal of Experimental Biology*, 204, 3225–3234.
- O’Neill, J. O., Young, J. B., Pothier, C. E., & Lauer, M. S. 2005. Peak oxygen consumption as a predictor of death in patients with heart failure receiving beta-blockers. *Circulation*, 111(18), 2313–8.
- Paananen, A., Pura, A. & Reppanen, K. 2011. Hapenottokyvyn arviointimenetelmien vertailu – Uuden sykevälivaihteluun perustuvan testin ja UKK-kävelytestin validiteetti. Turun ammattikorkeakoulu. Fysioterapian koulutusohjelma. Opinnäytetyö
- Pringle, J. S. M., & Jones, A. M. 2002. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 214–226.
- Pulkkinen, A. 2003. Uusien sykkeeseen perustuvien hapenkulutuksen arviointimenetelmien tarkkuus. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu - tutkielma.
- Rutherford, O. M., Greig, C. A., Sargeant, A. J., & Jones, D. A. 1986. Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of Sports Sciences*, 4, 101–107.
- Sartor, F., Vernillo, G., de Morree, H. M., Bonomi, A. G., La Torre, A., Kubis, H.-P., & Veicsteinas, A. 2013. Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings. *Sports Medicine*, 43(9), 865–73.
- Savonen, K., Laukkanen, J. & Peltonen, J. 2014. Suorituskyky ja kardiorespiratorinen kunto: kuormitusfysiologiasta kliiniseen päätöksentekoon. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim*. 131(18):1693-9.
- Shephard, R. J. 2009. Is it time to retire the “central governor”? *Sports Medicine*, 39(9), 709–21.
- Smolander, J., Ajoiviita, M., Juuti, T., Nummela, A., & Rusko, H. 2011. Estimating oxygen consumption from heart rate and heart rate variability without individual calibration. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 31, 266–271.
- Strijk, J. E., Proper, K. I., Klaver, L., van der Beek, A. J., & van Mechelen, W. 2010.. *BMC Public Health*, 10(1), 684.
- Sunde, A., Støren, O., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. 2010. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *Journal of Strength*

- and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association, 24, 2157–2165.
- Swain, D. P., & Wright, R. L. 1997. Prediction of VO₂peak from submaximal cycle ergometry using 50 versus 80 rpm. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 29, pp. 268–272).
- Takalo, T. 2001. Submaksimaalisten ergometrien luotettavuus. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Pro gradu - tutkielma.
- Taylor, H.L., Buskirk, E. & Henschel, A. 1955. Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of Applied Physiology*. 8(1):73-80.
- Timson, B. F., Falls, H. B., Wilson, T. E., & Zimmerman, S. D. 2008. Effect of muscle strength on VO₂ plateau occurrence rate. *Isokinetics and Exercise Science*.16, 231–237.
- Vaara, J.P., Kyröläinen, H., Niemi, J., Ohrankämnen, O., Häkkinen, A., Kocay, S., & Häkkinen, K.2012. Associations of maximal strength and muscular endurance test scores with cardiorespiratory fitness and body composition. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 26 (8): 2078–2086.
- Wendell, C.R., Gunstad, J., Waldstein, S.R., Wright, J.G., Ferrucci, L. & Zonderman, A.B. 2014. Cardiorespiratory Fitness and Accelerated Cognitive Decline With Aging. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 69(4):455–462.
- Yoon BK, Kravitz L & Robergs R. 2007. VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39(7):1186-92.
- Zakariás, G., Petrekanits, M. & Laukkanen, R. 2003. Validity of a 2-km Walk Test in predicting the maximal oxygen uptake in moderately active Hungarian men. *European Journal of Sport Science* 3 (1), 1-8.
- Zoladz, J.A., Szkutnik Z., Majerczak, J., Grandys, M., Duda K, & Grassi B. 2012. Isometric strength training lowers the O₂ cost of cycling during moderate-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*. (12):4151-61.

LIITE 1. TERVEYSKYSELYLOMAKE

MITTAUKSEN TIEDOT

Mittauspvm: _____

Mittausprotokolla: _____

Koehenkilönumero: _____

KOEHENKILÖN TIEDOT

Nimi: _____

Syntymäaika: _____

Pituus: _____ Paino _____

Aktiivisuusluokka: _____

TERVEYDENTILAN KARTOITUS

1. Käytätkö säännöllisesti jotain lääkitystä?

	Kyllä	En
Sydänlääkitys:	()	()
Verenpainelääkitys:	()	()
Astmalääkitys:	()	()
Voimakas kipulääkitys:	()	()

2. Onko Sinulla todettu jokin seuraavista sairauksista (ympyröi)?

- | | | |
|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. sepelvaltimotauti | 12. muu verisuonisairaus | 23. nivelreuma |
| 2. sydäninfarkti | 13. krooninen keuhkoputkentulehdus | 24. nivelrikko tai –kuluma |
| 3. kohonnut verenpaine | 14. keuhkolaajentuma | 25. krooninen selkäsairaus |
| 4. sydänlappävika | 15. astma | 26. mahahaava |
| 5. aivohalvaus | 16. muu keuhkosairaus | 27. pallea-, nivus- tai napatyrä |
| 6. aivoverenkierronhäiriö | 17. allergia | 28. ruokatorven tulehdus |
| 7. sydämen rytmihäiriö | 18. kilpirauhasen toimintahäiriö | 29. mielenterveyden ongelmia |
| 8. sydämen tahdistin | 19. diabetes | 30. kasvain tai syöpä |
| 9. kävelykipua pohkeissa | 20. anemia | 31. leikkaus äskettäin |
| 10. sydänlihassairaus | 21. korkea veren kolesteroli | 32. tapaturma äskettäin |
| 11. syvä laskimotukos | 22. korkea verensokeri | 33. kohonnut silmäpaine |

34. Muita sairauksia tai oireita: _____

3. Onko sinulla ollut joitain seuraavista oireista viimeisen 6 kk aikana?

	Kyllä	Ei
Rintakipuja levossa tai rasituksen aikana	()	()
Rytmihäiriötuntemuksia	()	()
Hengenahdistusta rasituksen aikana	()	()
Poikkeavan voimakasta uupumista	()	()
Huimausta, huimaavaa oloa	()	()
Toistuvaa päänsärkyä	()	()
Liikkumista haittaavia lihas-, nivel tai muita kipuja	()	()

4. Onko lähisuvussasi (vanhemmat, sisarukset) alle 50-vuotiailla ilmeneviä sydänsairauksia?

() Kyllä. () Ei.

5. Tupakoitko?

5. Tupakoitko?

() Kyllä. () En.

Lisätiedot: _____

6. Onko Sinulla ollut kuumetta, flunssaa, voimakasta päänsärkyä tai poikkeavaa väsymystä viimeisen viikon aikana?

() Kyllä. () Ei.

Olen täyttänyt taustatietoni totuudenmukaisesti. Ymmärrän liikkuvani ohjatusti omalla vastuullani ja voivani keskeyttää testin milloin tahansa. Jos tunnen testin aikana rintakipuja, huimausta tai tuki- ja liikuntaelimestön kipuja tai muuta normaalista poikkeavaa, ilmoitan niistä viipymättä testaajalle. Mittaustuloksiani saa hyödyntää tutkimuskäyttöön (henkilöllisyys ei ole tunnistettavissa).

Testattavan allekirjoitus

Paikka ja aika

TUTKIJA TÄYTTÄÄ:

Koehenkilön BMI: _____

VASTA-AIHEET VO2MAX -TESTIIN

Matala riski () Kohtalainen riski () Korkea riski ()

OSALLISTUMINEN TUTKIMUKSEEN Hyväksytty () Hylätty ()

Tutkijan allekirjoitus

Paikka ja aika

LIITE 2. SUORAN TESTIN PROTOKOLLA

Subject ID: _____ Name: _____ Date: _____

Height: _____ Weight: _____ Date of birth: _____

Female Male Mask: _____

Previously determined VO2max: _____ Predicted HRmax (220-age): _____

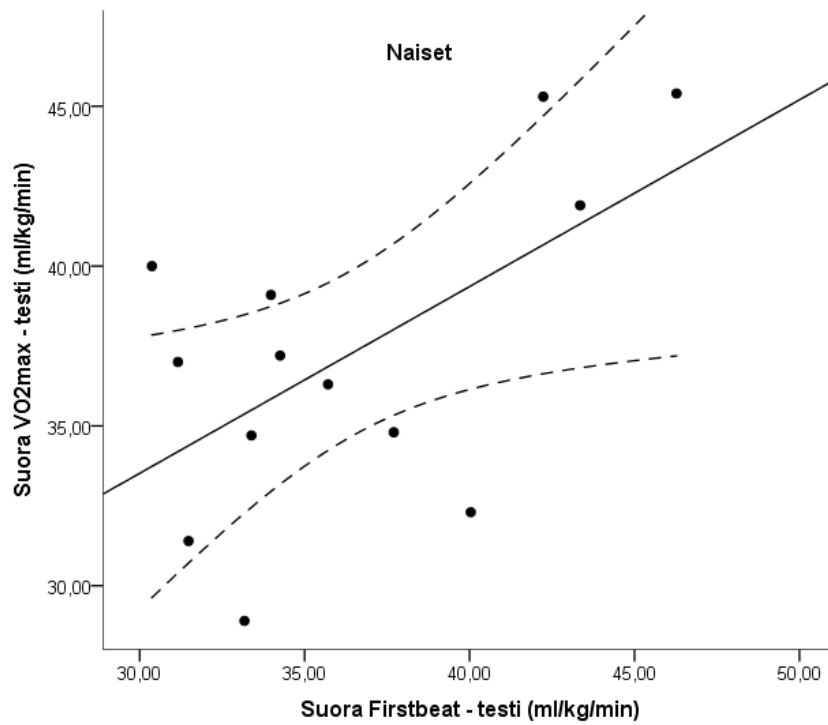
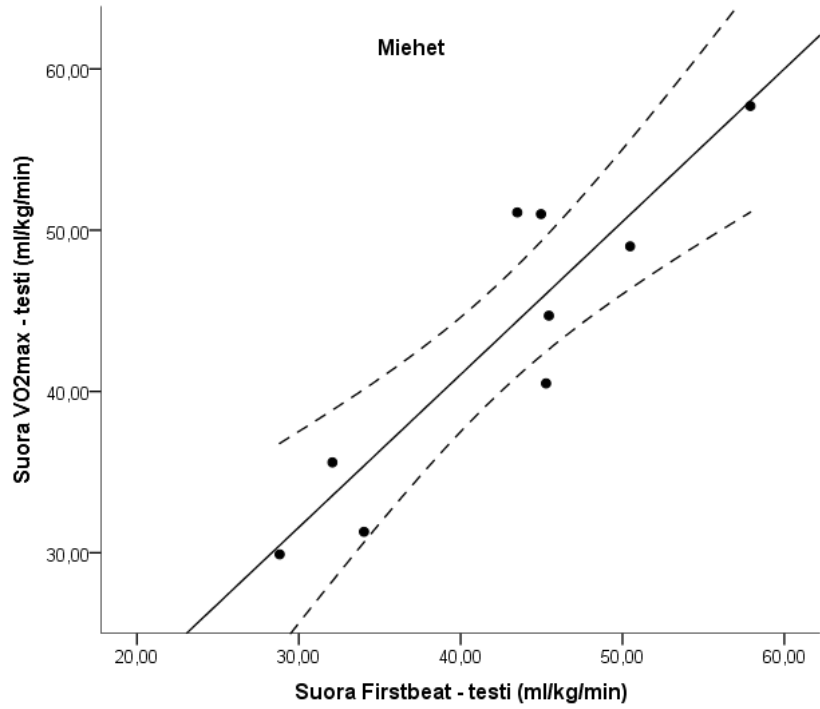
Test start time: _____ Activity level: _____

Stage	Time (min)	Power (Watt)	Cadens (rpm)	HR	RPE	Lactate (mmol/l)	Comments
Rest	-	-	-				
1	0-2	20					
2	2-4	50					
3	4-6	80					
4	6-8	110					
5	8-10	140					
6	10-12	170					
7	12-14	200					
8	14-16	230					
9	16-18	260					
10	18-20	290					
11	20-22	320					
12	22-24	350					
13	24-26	380					
14	26-28	410					
Cooling down							
	0-1	50					
	1-2	50					
	2-3	50					
	3-4	50					
	4-5	50					
End of VO2max test							

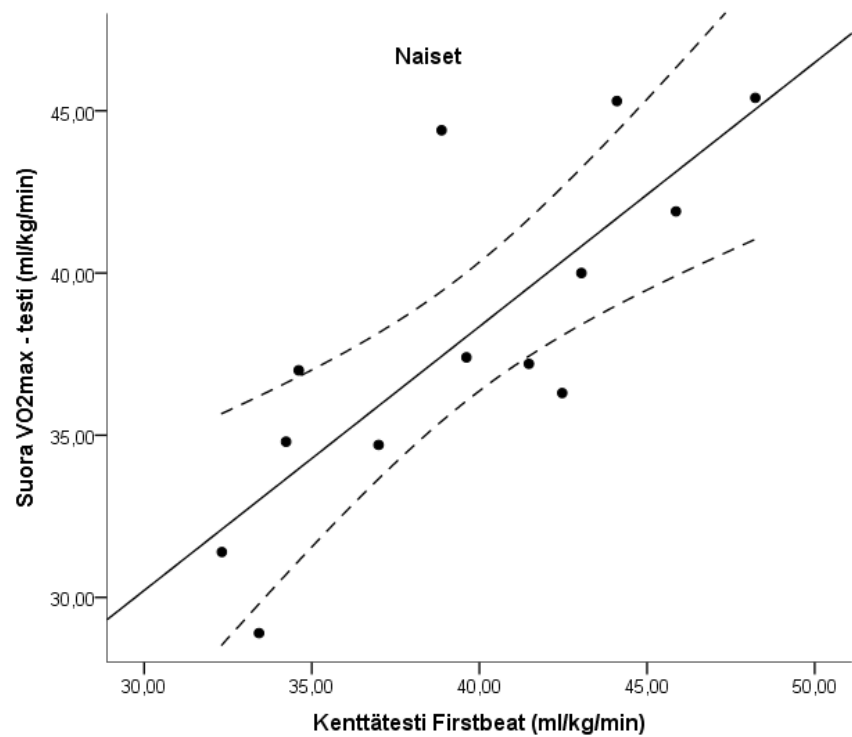
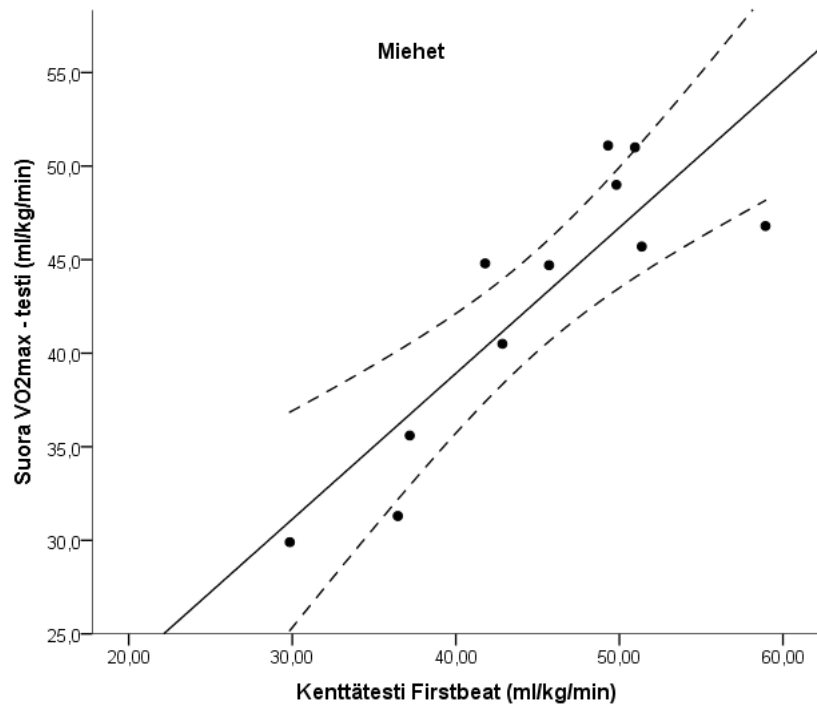
Ending time of test: _____ Last stage completed: _____ HRmax: _____

Total time of test: _____ Lactate post (15 s): _____ mmol/l VO2max: _____ ml/kg/min

LIITE 3. SUORAN TESTIN KORRELAATIOKUVAAJAT



LIITE 4. KENTTÄTESTIN KORRELAATIOKUVAAJAT



LIITE 5. SÄÄTIEDOT

Päivä	Tunti	Lämpötila	Kosteus	Ilmanpaine	Tuulensuunta	Keskituuli	Puuskat
11.7.	9	13,7	71	1013,6	353	5,1	7,6
11.7.	11	15,9	55	1013,7	347	4,6	8,3
11.7.	13	17,2	46	1013,5	332	3,3	7,6
11.7.	15	18,4	42	1013,2	315	3,4	7
14.7.	15	22,9	46	1007,6	212	2,3	6,2
15.7.	10	14,7	68	1008,6	299	2,4	4,5
15.7.	14	18	51	1007,7	234	1,4	3,8
16.7.	10	12	65	1004,2	269	4,2	9,2
29.7.	12	23	54	1018	130	3,3	7,4
20.8.	10	16,2	81	1017,4	193	1,8	4,2
20.8.	17	21,4	51	1017,7	181	2,5	6
21.8.	8	9,7	99	1017,9	290	1	2,2
22.8.	10	14,4	87	1015,4	284	1,2	3,2
29.8.	9	11,4	85	1014,7	300	1,8	2,9
29.8.	13	17	44	1014,7	286	3,3	6,7
29.8.	17	16,6	44	1014,4	292	3,7	7,1
29.8.	18	16,7	43	1014,3	270	2,9	6,3
30.8.	9	8,4	92	1017,1	146	0,7	1,5
1.9.	16	14,1	94	1003,4	113	4	7,3
1.9.	18	13,7	95	1002,3	114	3,3	7,4
6.9.	9	9,3	99	1024,1	160	0,9	2,1
12.9.	9	12,4	99	1017,2	159	1	1,8
12.9.	18	16,6	78	1017,4	35	1,6	2,7
13.9.	10	11,4	100	1019,4	126	1,3	2,7

