

**MAKSIMAALISEN HAPENOTTOKYVYN ARVIOINTI
BIOIMPEDANSSIANALYYSIN JA SEN ANTAMIEN MUUTTUJIEN AVULLA**

Timo Vilppo

Valmennus- ja testausopin

Pro gradu-tutkielma

Kevät 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja: LitT Minna Tanskanen

Timo Vilppo (2015). Maksimaalisen hapenoton arviointi bioimpedanssianalyysin ja sen antamien muuttujien avulla. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Valmennus- ja testausopin Pro gradu –tutkielma, 66 s.

TIIVISTELMÄ

Ihmisen kestävyyskunnan merkittävin mitattava suure on maksimaalinen hapenotto (VO_2max). Maksimaalista hapenottokykyä on yritetty arvioida monilla eri menetelmillä. Tämän Pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää voidaanko bioimpedanssianalyysin avulla ennustaa maksimaalista hapenottoa nuorilla vaihtelevan kuntotaustan omaavilla varusmiehillä. Lisäksi haluttiin myös selvittää voidaanko non-exercise-menetelmissä käytettyjen muuttujien kuten fyysisen aktiivisuuden, BMI:n, kehon rasvaprosentin ja painon avulla parantaa bioimpedanssin avulla tehdyn maksimaalisen hapenoton arvion tarkkuutta.

Tutkimukseen osallistui 59 alokasta (keski-ikä 19.1 ± 0.3 vuotta) Kainuun Prikaatin viestikomppanian tammikuun 2006 saapumiserästä. Tutkittavilta kartoitettiin kyselytutkimuksella oma arvio fyysisestä aktiivisuudesta kahdeksanportaisella asteikolla, mitattiin maksimaalinen hapenotto suoralla menetelmällä ja heille tehtiin bioimpedanssianalyysi. Mittaukset suoritettiin alokaskauden alussa yhden viikon aikana.

Bioimpedanssimittaus suoritettiin kuudella eri taajuudella, joista 500 kHz ja 1 MHz osoittautuivat tilastollisesti merkitseviksi korrelaatioanalyysissä maksimaalisen hapenoton kanssa ($p < 0.05$). Bioimpedanssianalyysin avulla mitatulla rasvaprosentilla ja fyysisen aktiivisuuden arviolla pystyttiin ennustamaan maksimaalista hapenottoa 70.6 prosentin selitysasteella. Muilla lisämittaustuloksilla ei ollut ennustearvoa parantavaa vaikutusta. Rasvaprosentti ja kehon bioimpedanssi ovat toisistaan riippuvaisia suureita, mikä sulki bioimpedanssin pois lopullisesta ennustemallista.

Tutkimustuloksissa keskimääräinen maksimaalinen hapenottotulos oli 43 ml/kg/min, mikä on alle ikäluokan keskimääräiseksi arvioidun tulostason. Maksimaalinen hapenotto poikkesi tutkittavilla enemmän keskimääräisestä kuin fyysisen aktiivisuuden keskiarvo. Tämä vaikeutti tutkimustulosten yleistämistä väestötasolle.

Yhteenvedona voidaan todeta, ettei tutkimusten tulosten perusteella voida osoittaa bioimpedanssianalyysin yksinään tuovan apua maksimaalisen hapenoton VO_2max arviointiin ainakaan fyysiseltä aktiivisuudeltaan vaihtelevassa väestössä.

Avainsanat: VO_2max , Fyysisen aktiivisuuden arvio, Bioimpedanssianalyysi, Rasvaprosentti

Timo Vilppo (2015). Prediction of maximal oxygen uptake by bioimpedance analysis and bioimpedance derived variables. Department of Biology of Sport, University of Jyväskylä, Science of Sport Coaching and Fitness Testing, Master's thesis, 66 p.

ABSTRACT

Maximal oxygen uptake (VO_{2max}) is seen as the most significant measurement of human endurance capacity. VO_{2max} has been predicted with various methods. The purpose of this study was to evaluate if VO_{2max} could be predicted with the help of bioimpedance analysis from young male conscripts with versatile physical activity backgrounds. Also the aim was to examine if non-exercise model variables like physical activity, BMI, percentage body fat or body weight could improve the estimate of VO_{2max} received by bioimpedance analysis.

Fifty-nine conscripts (age 19.1 ± 0.3 years) from Kainuu Pricade Signal Corps January 2006 class participated in this study. The participants evaluated their own physical activity with Jackson's assessment by a questionnaire and their maximal oxygen uptake was measured with direct test. Also the bioimpedance analysis was made. The study was made early during basic training period within one week.

Bioimpedance analyses were performed to all participants with six frequencies, and results with frequencies 500 kHz and 1 MHz were proven to correlate significantly with VO_{2max} ($p < 0.05$). Percentage body fat received from bioimpedance analysis and the physical activity assessment score could predict VO_{2max} up to 70.6 percent. Other measured values did not enhance the accuracy of the prediction. Bioimpedance as a score and the bioimpedance derived physical variables are dependent from each other and consequently they excluded the bioimpedance from the final prediction equation of VO_{2max} .

The results showed mean VO_{2max} to be 43 ml/kg/min, which is lower than the estimated average level in that agegroup. VO_{2max} deviated more from the average than the assessed physical activity score. This made the extrapolations to population difficult.

In conclusion, the results showed that the bioimpedance analysis alone cannot predict the VO_{2max} reliably in population with variable physical activity backgrounds.

Keywords: VO_{2max} , Physical activity assessment, Bioimpedance analysis, Percentage body fat

KÄYTETYT LYHENTEET

ATP	adenosiinitrifosfaatti
BIA	biosähköinen impedanssianalyysi (bioelectric impedance analysis)
BMI	painoindeksi (Body Mass Index)
CNS	keskushermosto (Central Nervous System)
EKG	elektrokardiografia
HRmax	maksimisyke (maximum heart rate)
NASA	Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallinto (National Aeronautics and Space Administration)
NESP	Darbepoetiini (Novel Erythropoiesis Stimulating Protein)
PA-R	Johnson Space Centerin arviointiasteikko (Physical Activity Rating)
P-SPV	Pohjois-Suomen viestipataljoona
RER	hengitysosamäärä (respiratory exchange ratio)
r-HuEPO	Erytropoietiini (Recombinant human Erythropoietin)
RR-intervallit	peräkkäisten sydämenlyöntien väli
SEE	estimaatin keskivirhe (standard error of estimation)
TBW	kehon kokonaisnestemäärä (total body water)
VO ₂ max	maksimaalinen hapenotto
UKK	Urho Kekkosen Kuntoinstituuttisäätiö
WHO	Maailman terveysjärjestö (World Health Organisation)
WHR	vyötärö-/lantio suhde (waist-hip ratio)
YMCA	Nuorten miesten kristillinen yhdistys (Young Men's Christian Association)

SISÄLTÖ:

1. JOHDANTO.....	7
2. MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY.....	8
2.1. Maksimaalisen hapenoton määritelmä.....	8
2.2. Maksimaaliseen hapenottoon vaikuttavat tekijät.....	10
2.3. Maksimaalisen hapenoton rajoittavat tekijät.....	13
3. MAKSIMAALISEN HAPENOTON ARVIOINTI JA MITTAUS.....	16
3.1 Epäsuorat maksimaalisen hapenoton arviointimenetelmät.....	16
3.1.1 Submaksimaalisen testin määritelmä.....	16
3.1.2 Non-exercise-menetelmät.....	23
3.2 Suora maksimaalisen hapenoton mittausmenetelmä.....	25
3.3 Maksimaalisen hapenoton arviointiin liittyvät ongelmat.....	26
4. BIOIMPEDANSSIANALYYSI.....	29
4.1 Tausta.....	29
4.2 Bioimpedanssianalyysin määritelmä.....	29
4.3 Bioimpedanssianalyysin menetit.....	31
4.3.1.1 Yksitaajuusmenetelmä (single frequency BIA).....	31
4.3.1.2 Monitaajuusmenetelmä (multi-frequency BIA).....	32
4.3.1.3 Segmentaalinen BIA (Segmental BIA).....	33

4.4	Maksimaalisen hapenoton arviointi bioimpedanssin avulla.....	33
5.	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI	36
6.	MENETELMÄT.....	37
6.1	Tutkittavat	37
6.2	Testiprotokolla.....	38
6.3	Mittaukset.....	38
6.3.1	Antropometriset mittaukset	38
6.3.2	Maksimaalinen hapenotto	39
6.3.3	Bioimpedanssianalyysi	39
6.4	Fyysisen aktiivisuuden kysely.....	40
6.5	Tilastollinen analyysi.....	41
7.	TULOKSET	42
7.1	Antropometria ja demografia	42
7.2	Maksimaalinen hapenotto ja bioimpedanssianalyysi.....	43
7.3	Korrelaatioanalyysi.....	45
8.	POHDINTA	50
9.	LÄHTEET	58

1 JOHDANTO

Aerobisen kestävyuden testit, joissa mitataan tai arvioidaan testattavan maksimaalista hapenottokykyä, kestävyysuorituskykyä ja pitkäaikaista kestävyyttä ovat useimmin käytettyjä testejä fyysisten ominaisuuksien testauksessa ja tutkimuksessa. Kuntoilijoiden keskuudessa epäsuora submaksimaalinen testi on yleisesti käytössä oleva maksimaalisen hapenoton määritysmenetelmä. Menetelmän etuna voidaan katsoa olevan testin halpuus sekä nopeus, eikä se vaadi testattavalta maksimaalista ponnistelua. Kuntoilijoille sopivaksi menetelmäksi voidaan myös lukea nykyisin käytettävät non-exercise-menetelmät, joissa hapenottoa arvioidaan taustatietojen sekä kehon koostumuksen tai leposykkeen avulla.

Suoraa hapenoton mittausmenetelmää kutsutaan ”kultaiseksi standardiksi”, koska se mittaa luotettavasti ja tarkasti hengityskaasuja (ACSM 2000). Suora menetelmä ei kuitenkaan ole käytännöllinen, koska se vaatii kalliit laitteet sekä kokeneen laitteiden käyttäjän. Tästä syystä tutkijat ovatkin ryhtyneet kehittämään erilaisia menetelmiä maksimaalisen hapenoton arvioimiseksi. Arvioimiseen käytettyjä muuttujia ovat testattavien sukupuoli, ikä, pituus, paino, kävely/juoksu aika sekä maksimiteho. (Andersen ym. 1995).

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on perehtyä maksimaalisen hapenoton määritykseen bioimpedanssianalyysin avulla. Tutkielmassa paneudutaan maksimaalisen hapenoton suoran mittaustavan ja epäsuorien arviointimenetelmien eroihin ja yhtäläisyyksiin. Tutkielmassa selvitetään myös menetelmien soveltuvuutta eri kuntotason omaaville sekä eri-ikäisille ihmisille.

2 MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY

2.1 Maksimaalisen hapenoton määritelmä

Aerobista tehoa kuvaillaan yleensä termillä maksimaalinen hapenottokyky ($VO_2\max$). Maksimaalista hapenottokykyä on käytetty kuvaamaan hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa ja kehitystä kestävyysharjoittelua tekevillä ihmisillä. (Malek ym. 2005).

Terminä $VO_2\max$ on otettu käyttöön jo 1920-luvulla Hill:n ja Luptonin (1923) tutkimuksessa. Maksimaalisen hapenkulutuksen ($VO_2\max$) sanotaan kertovan sen korkeimman arvon, jossa ihminen kykenee käyttämään happea kehon toimintojen hyväksi. $VO_2\max$ -arvon yksikkönä käytetään yleensä ml/kg/min. Hill ja Lupton (1923) tarkensivat $VO_2\max$:n määrittystä ja totesivat, että

1. maksimaalisella hapenkulutuksella on yläraja,
2. maksimaaliset hapenkulutusravot vaihtelevat yksilöiden välillä,
3. menestyäkseen keskipitkillä ja pitkillä juoksumatkoilla ihmisellä on oltava korkea maksimaalinen hapenkulutusravo ja
4. $VO_2\max$:a rajoittaa hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea lihaksiin.

Perinteisesti yksilön $VO_2\max$ suuruuden on katsottu olevan yksi tärkeimmistä tekijöistä arvioitaessa kestävyysuorituskykyä. Klassinen tutkimus, joka tehtiin 1970-luvulla Ball State yliopistossa, vahvisti käsityksen $VO_2\max$ tärkeydestä kestävyystestauksessa. Tutkijat havainnoivat korkeasta korrelaatiosta $VO_2\max$ ja 10 mailin juoksutuloksen välillä. (Costill 1970).

$VO_2\max$ määritellään maksimaaliseksi hapenkulutukseksi aikayksikköä kohti suorituksessa, jossa isot lihasryhmät tekevät työtä ja suoritusta jatketaan progressiivisesti nousevassa kuormituksessa uupumukseen asti. $VO_2\max$:iin vaikuttavat kaksi tekijää: 1) lihasten kyky käyttää happea energiantuottoon ja 2) hengitys – ja

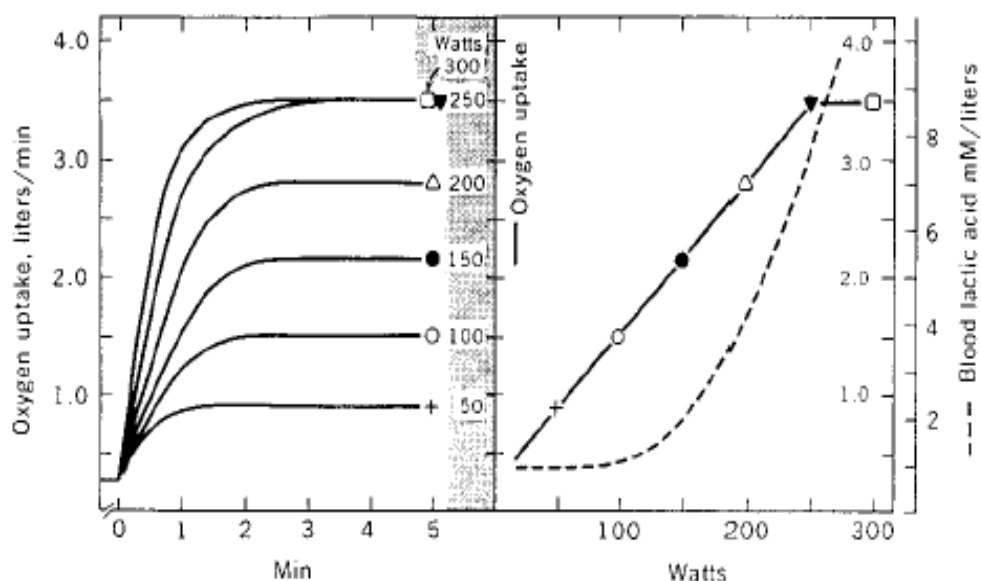
verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea lihassoluihin. (Kuntotestauksen käsikirja, 2004).

Maksimaalisen hapenkulutuksen ($VO_2\max$) saavuttamiselle on asetettu kriteereitä. Yleisimmät kriteerit ovat: 1) veren laktaattitaso mitattuna viiden minuutin jälkeen suorituksen päättymisestä on > 8 mmol/l, 2) hengitysosamäärän arvo (RER) on > 1.00 , ja 3) sydämen sykearvo on testin päättyessä >85 % iän perusteella lasketusta maksimista. (Cumming ym. 1972). Kriteereiksi on myöhemmin myös ehdotettu: laktaattitaso 8 – 9 mmol/l (Duncan ym. 1997), hengitysosamäärä (RER): > 1.15 (Lindstedt ym. 1988). Kriteerinä $VO_2\max$:n saavuttamiselle pidetään myös hapenkulutuksen tasaantumista tai jopa kääntymistä laskuun, vaikka työmäärä jatkaakin kasvamistaan (Howley ym. 1995). (kuva 1.)

Laktaattitason kriteeriä ei voida kuitenkaan pitää täysin ehdottomana, sillä tutkimukset ovat osoittaneet, että tasaantumisvaiheen hapenkulutuksessa saavuttaneista koehenkilöistä vain 50-78 % saavutti testin jälkeisen laktaattitason, joka ylsi 8,8 mmol/l tasolle. (Sidney ym. 1977).

Liian nopeasti kasvava hapenkulutus ei näytä koko totuutta maksimaalisesta hapenkulutuksesta, vaikka tasaantumisvaihe saavutettaisiinkin (Rowland 1993). Vaikkei tasannevaihetta olisi saavutettukaan, se ei tarkoita sitä, ettei todellista $VO_2\max$ -arvoa olisi saavutettu. Koehenkilö on saattanut lopettaa testin juuri silloin, kun maksimaalinen hapenkulutus on tavoitettu. (Bassett & Howley 2000.) Tämän seikan vuoksi tasaantumisvaihetta ei voida pitää ainoana kriteerinä $VO_2\max$:n saavuttamiselle (Rowland ym. 1993).

Nousevan kuormituksen testissä tutkijat vaativat, että jokainen taso kestää 3 – 5 minuuttia (Duncan ym. 1997). Näin ollen, jos koehenkilö tavoittaa maksimaalisen $VO_2\max$ -arvon 2 minuutissa supramaksimaalisella intensiteetillä ja tulee liian väsyneeksi jatkaakseen testiä, ei maksimaalista $VO_2\max$ -arvoa tule huomioida, vaikka se olisi saavutettu. (Bassett ym. 2000).



KUVA 1. Hapenkulutuksen ja laktaattitason käyttäytyminen nousevassa kuormituksessa. Vasen puolisko kuvaa näyttää hapenoton lisääntymisen jokaisella 5 minuutin työjaksolla. Oikea puolisko kuvaa näyttää hapenoton suhdetta tuotettuun tehoon. Oikeassa kuvassa nähdään koehenkilön 250 W teholla saavutettu VO_2 max, joka ei 300 W teholla enää nouse. 300 W teholla energia tuotettiin anaerobisessa prosessissa. (Åstrand ym. 1970).

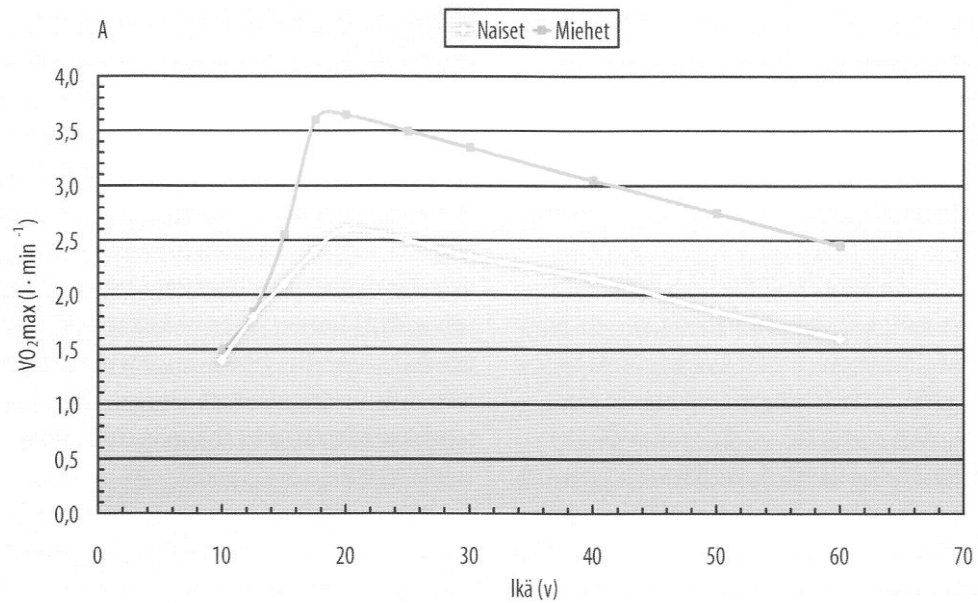
2.2 Maksimaaliseen hapenottoon vaikuttavat tekijät

Maksimaaliseen hapenottokyvyn VO_2 max arvoon vaikuttaa useita tekijöitä, kuten perinnöllisyys, ikä, sukupuoli, kehon koko ja rakenne sekä harjoitustila ja harjoituksen muoto (Basset ym. 2000). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. motivaatio, suorituksen tekniikka ja taloudellisuus sekä ympäristötekijät ja doping (Bouchard ym. 1992).

Perinnöllisyys. geneettisyyden on arvioitu vaikuttavan 20-30 % maksimaaliseen hapenottoon, 50 % maksimaalisen sydämen sykkeeseen ja 70 % fyysiseen työskentelykapasiteettiin (Perusse 1989). Kaksosilla tehdyissä tutkimuksissa perinnöllisyyden on todettu vaikuttavan enintään 25% maksimaalisesta hapenotosta. Perinnöllisyyden vaikutusta on kuitenkin vaikea arvioida tarkemmin, koska hapenottokykyyn vaikuttavat myös ympäristötekijät. (Bouchard ym. 1992).

Harjoitustila. Maksimaalisen hapenkulutuksen arvoa arvioidaan vertailemalla sitä koehenkilön sen hetkiseen kuntoon. Normaalisti maksimaalinen hapenkulutus vaihtelee 5 – 20 % riippuen siitä, onko henkilö ”hyvässä vai huonossa fyysisessä kunnossa” testin aikana. Jos kyseessä on nuori tai keski-ikäinen henkilö, maksimaalinen hapenkulutustaso voi vaihdella jopa 50 %. (Hawkins ym. 2003).

Ikä. Maksimaalinen hapenotto $VO_2\text{max}$ saavuttaa huippunsa 20-30 ikävuoden välillä. Vanhetessa maksimaaliset hapenkulutuserot pienenevät, mikä johtuu anatomisista ja fysiologisista muutoksista sekä yleisen fyysisen aktiivisuuden laskusta tai fyysisen harjoittelun tehokkuuden laskusta. 30 ikävuoden jälkeen maksimaalinen hapenkulutus vähenee noin prosenttia vuodessa sekä miehillä että naisilla kuntotasosta huolimatta. (Foster ym. 1986). (kuva 2.) Tosin säännöllisesti liikuntaa harrastavilla miehillä hapenottokyky alenee 30:n ikävuoden ja n.60-70 vuoden välillä puolet hitaammin kuin liikuntaa harrastamattomilla. Lisäksi estrogeenitasapainon muutosten on arveltu olevan pääsyyinä siihen, että naisilla säännöllinenkin liikunta ei pysty hidastamaan maksimaalisen hapenoton alenemista keski-ikään jälkeen. (Hawkins ym. 2003). Tutkimuksessa Paterson ym. (1999) tutki satunnaisesti valittua 55-86 -vuotiaiden ryhmää ja totesi, että maksimaalinen hapenotto aleni miehillä 0.3 ml/kg/min/v ja naisilla 0.25 ml/kg/min/v. Ikääntyminen selitti painoon suhteutetun maksimaalisen hapenoton alenemisesta vain 25% sekä miehillä että naisilla. Muu osa maksimaalisen hapenoton alenemisesta selittyy siis perimällä ja liikunnalla. Vähentyneen liikunnan ja lihassmassan sekä vastaavasti kehon rasvan suhteellisen lisääntymisen on arvioitu selittävän jopa 70% ikääntymiseen liittyvästä maksimaalisen hapenoton alenemisestä (Paterson ym. 1999; Johnson ym. 2000).



KUVA 2. Iän vaikutus maksimaaliseen hapenottoon naisilla ja miehillä.
(McArdle ym.1991).

Harjoituksen muoto. Yleisesti tiedetään, että harjoitusmuoto vaikuttaa maksimaaliseen hapenkulutuksen arvoon. Tämä johtuu aktiivisen lihassmassan määrän muutoksista eri lajeissa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että maksimaalisissa testeissä suurimpia arvoja on saatu juoksumatto- ja askellustesteissä verrattuna polkupyöräergometritesteihin, joissa on saatu merkittävästi alempia VO₂max-arvoja. Käsiergometrillä saavutettiin vain noin 70% pyöräilemällä saavutetusta maksimaalisesta hapenkulutuksen arvosta. (Åstrand ym. 1961).

Kehon rakenne ja koko. Kehon massa vaikuttaa 69 % maksimaalisen hapenottoarvojen eroista testihenkilöillä. Naisilla tulokset eroavat hapenottoarvossa 43 % miehistä, kun hapenottoa ei ole suhteutettu kehon painoon, vaan arvo ilmoitetaan litroina minuutissa. Kun kehon paino otetaan huomioon, naiset saavat enää 20 % pienemmän arvon kuin miehet. Toisaalta ei ole löydetty merkittäviä eroja naisten ja miesten hapenoton välillä, kun rasiutustapa on ollut maksimaalinen käsiergometrityöskentely ja tulokset ovat suhteutettu käsien ja olkapäiden kokoon. (Washburn ym. 1984).

Sukupuoli. Naisilla $VO_2\text{max}$ on absoluuttisena arvona eli l/min noin 40-45% pienempi kuin miehillä. Miesten suurempi kehon koko vaikuttaa taas suhteelliseen arvoon (eli ml/kg/min), jolloin ero on 15-20%. Ero tulee lähinnä kehon koostumuksesta ja hemoglobiinipitoisuudesta. Jos huomioidaan vaan rasvaton kehon massa, ero sukupuolten välillä on 10%. (McArdle 1996). Washburg ym. (1984) totesi puolestaan, että maksimaalinen hapenotto on normaalisti noin 15–30 % matalampi naisilla kuin miehillä. Kestävyyssurheilijoilla ero sukupuolten välillä on 15 – 20 %. Arvot ovat kuitenkin erilaiset, kun ne suhteutetaan kehon painoon (ml/kg/min). Näin ollen voidaan osoittaa, että miesten ja naisten välinen ero aerobisessa kapasiteetissa johtuu suurimmaksi osaksi supistuvan lihasmassan koosta.

Doping. Dopingaineiden käytön on raportoitu lisäävän maksimaalista hapenottokykyä merkittävästi. Ekblom ym. (1972) totesi urheilijan omalla verellä tankkauksen lisäävän punasolujen määrää ja hemoglobiinia jopa 20 %. Tankkaus suoritettiin 1-7 päivää ennen kilpailua ja vaikutus kesti noin kahden viikon ajan. 1980-luvun lopulla kehitettiin puolestaan r-HuEPO (Recombinant human Erythropoietini), joka on ihmisen munuaisissa syntyvän EPO-hormonin kaltainen tuote. r-HuEPO valmistetaan yhdistelmä-DNA-tekniikkaa käyttäen soluviljelmissä. 4 viikon r-HuEPO käytön on raportoitu lisäävän maksimaalista hapenottoa ($VO_2\text{max}$) 6-11 %. (Audran M ym. 1999; Ekblom ym. 1991). Myöhemmin kehitettyjä tiettävästi doping käytössä olleita aineita ovat mm. Darbepoetiini eli NESP (Novel Erythropoiesis Stimulating Protein), jonka on raportoitu lisäävän hemoglobiinin määrää sekä maksimaalisen harjoituksen kestoa merkittävästi (Ponikowski ym. 2007).

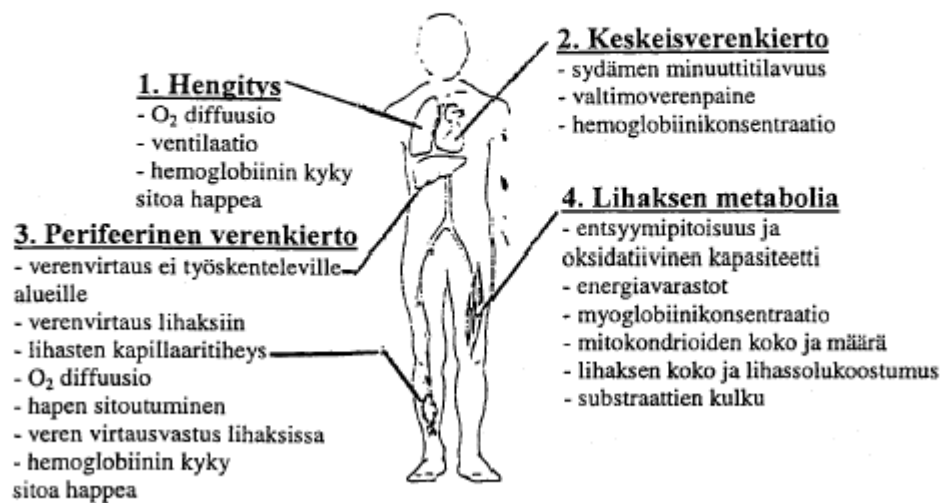
2.3 Maksimaalisen hapenoton rajoittavat tekijät

Maksimaalista hapenottoa rajoittavia tekijöitä on tutkittu paljon. Hapenottokykyä rajoittaviksi tekijöiksi on mainittu sekä lihastason ominaisuuksia että verenkiertoelimistön kapasiteettiä. On arvioitu, että noin 70–85 % $VO_2\text{max}$:n rajoittavista tekijöistä riippuu sydämen maksimaalisesta pumppausvoimasta. (ACSM 2000).

Viime vuosikymmenien aikana on esitetty useita teorioita, jotka rajoittavat $VO_2\text{max}$:ia, kuten luurankolihasen oksidatiivinen kapasiteetti, pääasiassa mitokondrioiden kokonaismäärä, verisuonten laajeneminen suhteessa sydämen minuuttitilavuuteen, sekä teorioita, joissa ei ole yhtä selvää rajoittavaa tekijää. (Clausen JP 1976; Taylor ym. 1981; Taylor ym. 1987).

Fysiologisia $VO_2\text{max}$:ia rajoittavia tekijöitä, jotka näkyvät kuvasta 3, ovat 1) hengitystoimintaan liittyvät tekijät, 2) sydämen verenkiertoon liittyvät tekijät, 3) ääreisverenkiertoon vaikuttavat tekijät ja 4) luurankolihasen metabolia. Näistä neljästä aihealueesta tärkeimmät ovat keuhkojen hapen diffuusiokapasiteetti, maksimaalinen sydämen pumppausvoima, verenkierron hapenkuljetuskyky ja luurankolihasen metabolinen kapasiteetti. (Bassett ym. 1997).

MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY



KUVA 3. Maksimaalista hapenottoa rajoittavat tekijät. (Bassett ym. 1997).

Monien tutkimusten (esim. Bassett ym. 2000 ja Robergs & Roberts 1997) mukaan perifeerinen verenkierto rajoittaa $VO_2\text{max}$:ia. Työskentelevien lihasten kyky käyttää ja kuljettaa happea verenkiertoelimistöön viittaa perifeeriseen komponenttiin (Robergs &

Roberts 1997). Mahdollisia rajoittavia komponentteja ovat lihasten diffuusiokapasiteetti, mitokondrio-entsyymi (molekyylejä, jotka helpottavat ATP-tuotantoa mitokondrioissa), ja kapillaaritiheys (Bassett ym. 2000).

Uusin teoria rajoittamaan $VO_2\text{max}$:ia, joka on kyseenalaistanut vanhat teorial on sentral governor-teoria, jossa verenkiertojärjestelmää ja luurankolihasen aktiivisuutta kuormituksen aikana kontrolloi CNS (Central Nervous System), keskushermoston kyky rekrytoida lihaksia. Sen ensisijaisena tehtävänä on suojata sydänlihasta iskemialta ja $VO_2\text{max}$ on vain seurausta siitä, millä teholla sydänlihaksen sallitaan työskennellä. (Brink-Elfegoun ym. 2007). CNS:n suorituskykyä säätelevä toiminta perustuu tietoihin, joita se saa sydäimestä, verisuonista, lihaksista ja aivojen eri osista. Säädeltävinä tekijöinä voisivat olla esim. verenvirtauksen, verenpaineen ja veren happimäärän ylläpitäminen. (Noakes ym. 2001). Sentral governor-teorian mekanismeja ei tunneta vielä tarkasti ja näin ollen eri tutkijaryhmät ovat eri mieltä teorian toimivuudesta. Sentral governor-teoriaa tukevia tutkimuksia ovat mm. (Noakes ym. 2001). Teoriaa vastustavat tutkijaryhmät puolestaan vetoavat tutkimuksiin, joissa $VO_2\text{max}$:ia rajoittavaksi päätekijäksi ehdotetaan hapenkuljetusjärjestelmää sydäimestä perifeeriseen verenkiertoon (Bassett ym. 1997; Wagner ym. 1996).

3 MAKSIMAALISEN HAPENOTON ARVIOINTI JA MITTAUS

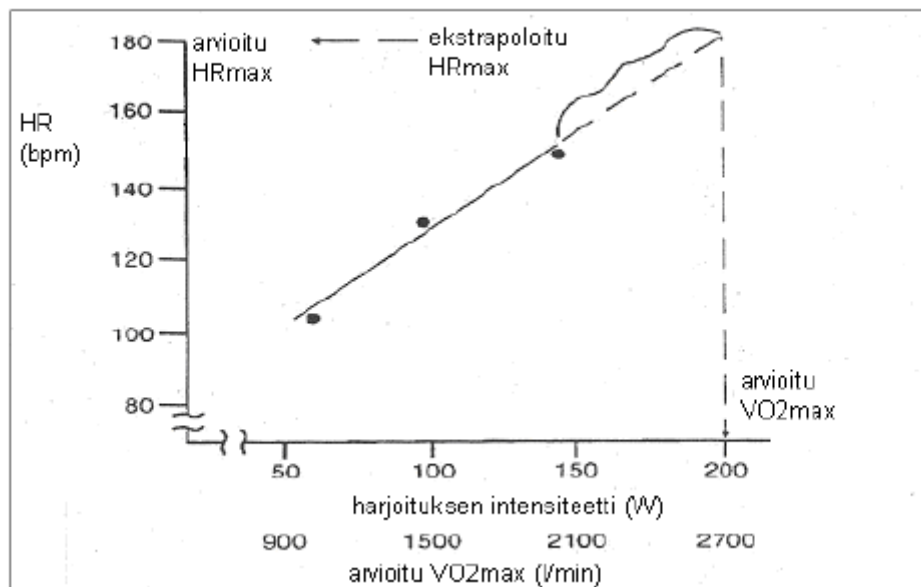
3.1 Epäsuorat maksimaalisen hapenoton arviointi- menetelmät

3.1.1 Submaksimaalisen testin määritelmä

Submaksimaalisella eli epäsuoralla maksimaalisella hapenottokykytestillä tarkoitetaan menetelmää, jonka avulla yksilön henkilökohtaisista ominaisuuksista voidaan arvioida yksilön maksimaalinen hapenkulutus, kun testaaja tuntee menetelmien vahvuudet ja heikkoudet sekä huomioi ne testien tuloksia tulkittaessa (ACSM 2000). Submaksimaaliset testit perustuvat sykkeen ja hapenkulutuksen lineaarisuuteen, arvioituun maksimisykkeeseen, tiedossa olevaan tehoon sekä päivittäiseen sykevaihteluun (Grant ym. 1999).

Kuormitusmuotona käytetään tavallisimmin polkupyöräergometriä tai juoksumattoa. Lisäksi on olemassa joukko askeltamis-, kävely-, juoksutestejä, jotka voidaan tehdä myös kenttäolosuhteissa (ACSM 2000).

Menetelmässä mitataan sykettä kuormituksessa. Submaksimaalisilla kuormilla saadut sykelukemat ekstrapoloidaan iän perusteella lasketun maksimisykkeen tasolle saakka. Maksimaalisesta sykkeestä voidaan arvioida maksimaalinen hapenkulutusarvo, sillä sydämen sykkeen hapenkulutuksen välistä yhteyttä voidaan pitää pääosin lineaarisena submaksimaalisilla kuormitusportailta. (kuva 4.) Maksimaalinen teho voidaan lukea vaaka akselilta ja tämä arvo voidaan edelleen muuttaa maksimaaliseksi hapenkulutusarvoksi. (ACSM 2000).



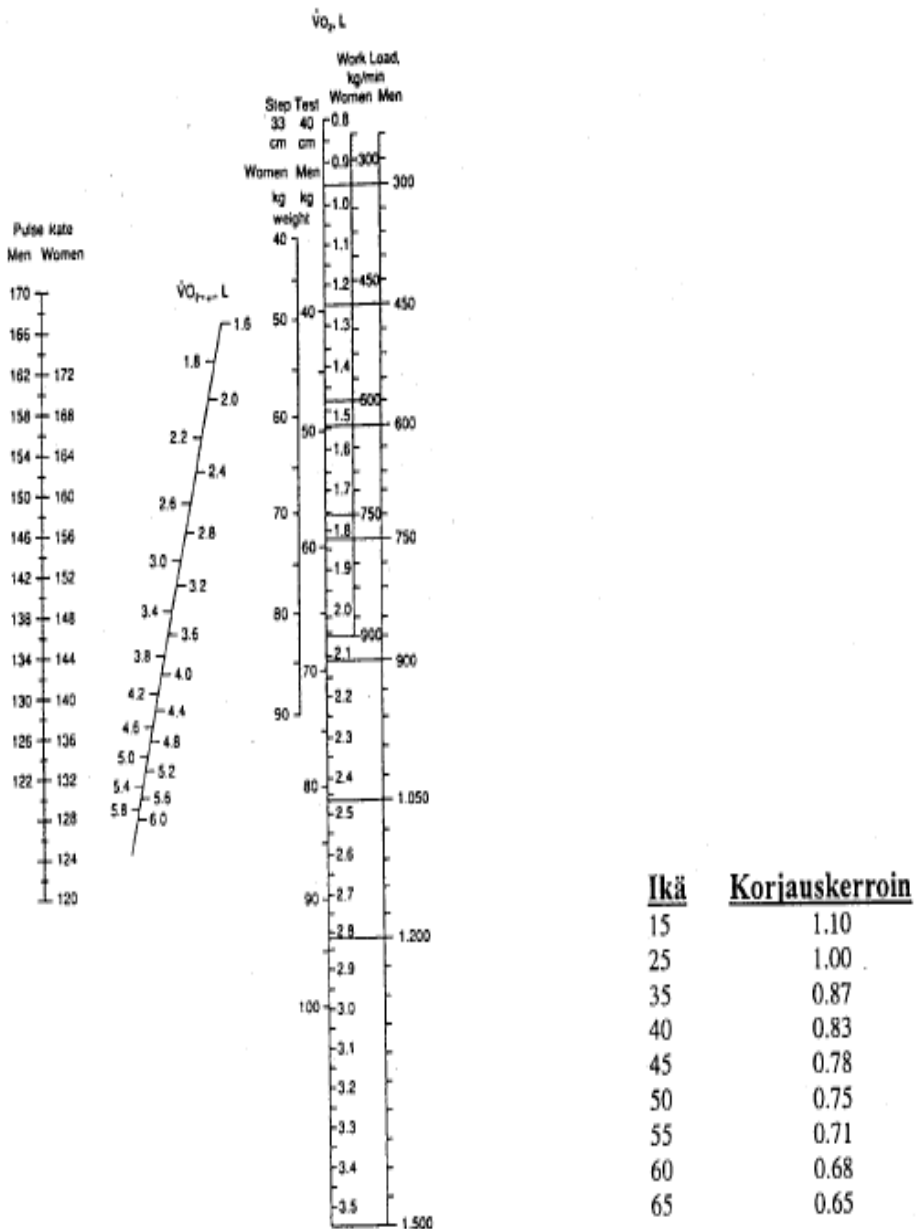
KUVA 4. VO₂max:n ennustaminen submaksimaalisten kuormien sykkelukemien avulla (ACSM 2000).

Yksi kuuluisimmista submaksimaalisista testeistä lienee Åstrandin ja Ryhmingin kehittämä yksiportainen 6 minuutin kestoinen testi polkupyöräergometrillä. Åstrand ym. (1954) julkisti testin ja sen mukana olevan nomogrammin (Kuva 5.) aerobisen kapasiteetin laskemista varten vuonna 1954. Testimenetelmä perustuu sykkeen ja hapenkulutuksen lineaariseen riippuvuussuhteeseen (Kuva 6.).

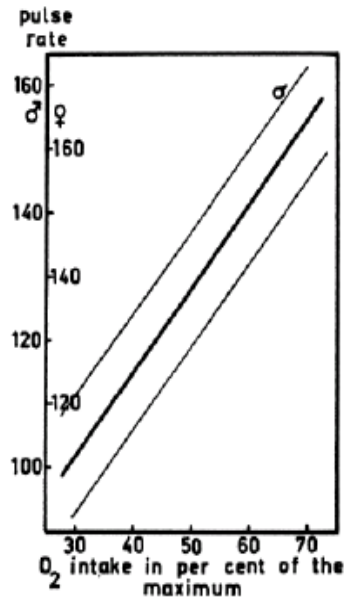
Åstrandin testissä koehenkilö polkee 6 minuutin työjakson submaksimaalisella tasolla. Kuorma työjaksolle on valittava siten, että syke työjakson aikana on 125 – 170 lyöntiä minuutissa. Maksimaalisen hapenoton tulos voidaan lukea nomogrammista, kun tiedetään koehenkilön työjakson lopussa oleva syke sekä tehty työmäärä (kgm/min).

Åstrandin testin nomogrammi on alun perin kehitetty testien pohjalta, joissa oli 58 hyvin harjoitellutta koehenkilöä (27 miestä ja 31 naista) (Cink ym. 1981). Koehenkilöt suorittivat maksimaalisen hapenoton testin juoksumatolla tai polkupyöräergometrillä sekä 3 – 5 submaksimaalista testiä usean päivän aikana. Koehenkilöt olivat iältään 20 – 30 vuotiaita. (Åstrand & Ryhming 1954). Myöhemmin Åstrand testasi vielä 144 eri-

ikäistä koehenkilöä ja paranteli nomogrammia lisäten siihen korjauskertoimet, jotka huomioivat testattavan iän (Kuva 5.) (Åstrand 1960).



KUVA 5. Åstrand-Ryhmingin nomogrammi (Åstrand & Ryhming 1954). Myöhemmin liitetyt korjauskertoimet (Åstrand 1960).



KUVA 6. Sykkeen ja hapenkulutuksen lineaarinen suhde. Ohuet viivat ilmoittavat poikkeaman. (Åstrand & Ryhming 1954).

Åstrandin testin luotettavuutta on tutkittu laajasti. Cink ym. (1981) totesi että Åstrandin testi on käyttökelpoinen submaksimaalinen testi, jos siinä käytetään hyväksi Åstrandin 1960 julkaisemaa ikäkorjauskerrointa tai von Döbelnin 1967 julkaisemaa ikäkorjauskerrointa poljinnopeuden ollessa 50 krt minuutissa. Jessup ym. (1977) tutki mahdollisuutta yhdistää Åstrandin testi sekä 12 minuutin juoksutesti sekä yksinkertainen regressioyhtälö kehon koostumuksesta. Tutkimuksessa korrelaatioksi Åstrandin ja uuden metodin kanssa tuli $r=0.64$. (Taulukko 1.) Kasch ym. (1984) käytti tutkimuksessaan 19–33 vuotiaita eri kuntoisia koehenkilöitä ja totesi Åstrandin testin aliarvioivan maksimaalista hapenottoa 21 %. Korrelaatio puolestaan oli 0.58. Teräslinna ym. (1966) osoittivat tutkimuksessaan, että ikää vastaavalla korjauskertoimella on merkittävä vaikutus ennusteen todenmukaisuuteen iäkkäillä ihmisillä.

TAULUKKO 1. Yhteenveto eräistä ennen vuotta 1996 tehdyistä tutkimusten tuloksista, joissa vertaillaan Åstrand & Ryhming testin ja suoran maksimitestin antamia VO₂max arvoja (De Wit ym. 1997). Vasemmassa reunassa ovat tutkimukset ja oikealla estimaatin keskivirhe SEE eli virheiden keskijajonta esitettyinä litroina minuutissa sekä prosentteina.

author(s)	r	SEE	
		(l · min ⁻¹)	%
Åstrand & Ryhming (1)			10–15
Åstrand & Rodahl (3)		0.27–0.43	6.7–14.4
DeVries & Klafs (10)	0.74		
Glassford et al. (17)	0.80		
Hermiston & Faulkner (19)	0.47		
Jessup et al. (21)	0.64		
Kasch (23)	0.58		
Legge & Banister (26)		0.51	
Louhevaara et al. (27)	0.39	0.54–0.55	
Siconolfi et al. (31)	0.82	0.24–0.43	9–15
Teräslinna et al. (33)	0.92		
Present study: DUR-test	0.74	0.55	12.7
Present study: DIS-test	0.77	0.57	13.3

Suomessa yksi käytetyimmistä submaksimaalisista testeistä lienee UKK-instituutin kehittämä 2 kilometrin kävelytesti. Yksinkertainen kävelytesti kehitettiin 159 koehenkilön avulla, joiden ikä oli 20 - 65 vuotta. kaikki koehenkilöt suorittivat 1, 1.5 ja 2 kilometrin kävelysuorituksen tasaisella tiellä. 2 kilometrin testi osoittautui luotettavimmaksi ja toistettavimmaksi testimatkaksi. (Oja ym 1991). VO₂max-arvio lasketaan regressioyhtälön avulla, johon kuuluvat 2 km:n kävelyaika, kävelyn lopussa mitattu syke, testattavan ikä ja kehon painoindeksi (BMI). Kävelyaika ilmoitetaan minuutteina. (Laukkanen ym. 1992). Molemmille sukupuolille on omat kaavansa:

naiset: (VO₂max) (ml/kg/min) = 116.2 – 2.98 x aika – 0.11 x syke – 0.14 x ikä – 0.39 x BMI

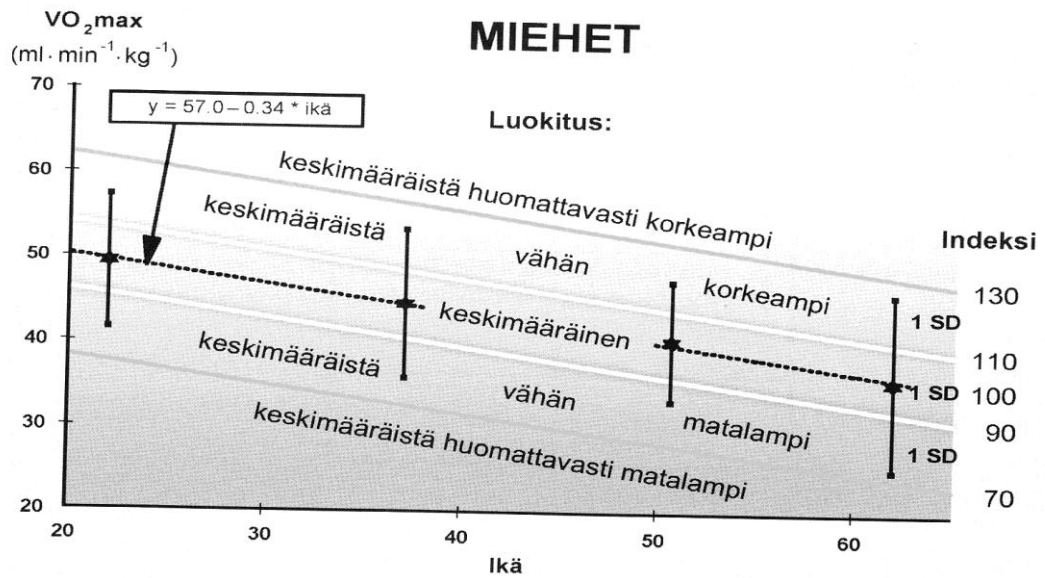
miehet: (VO₂max) (ml/kg/min) = 184.9 – 4.65 x aika – 0.22 x syke – 0.26 x ikä – 1.05 x BMI

Kävelytestitulokset voidaan myös muuntaa kuntoindeksipisteiksi seuraavien yhtälöiden avulla:

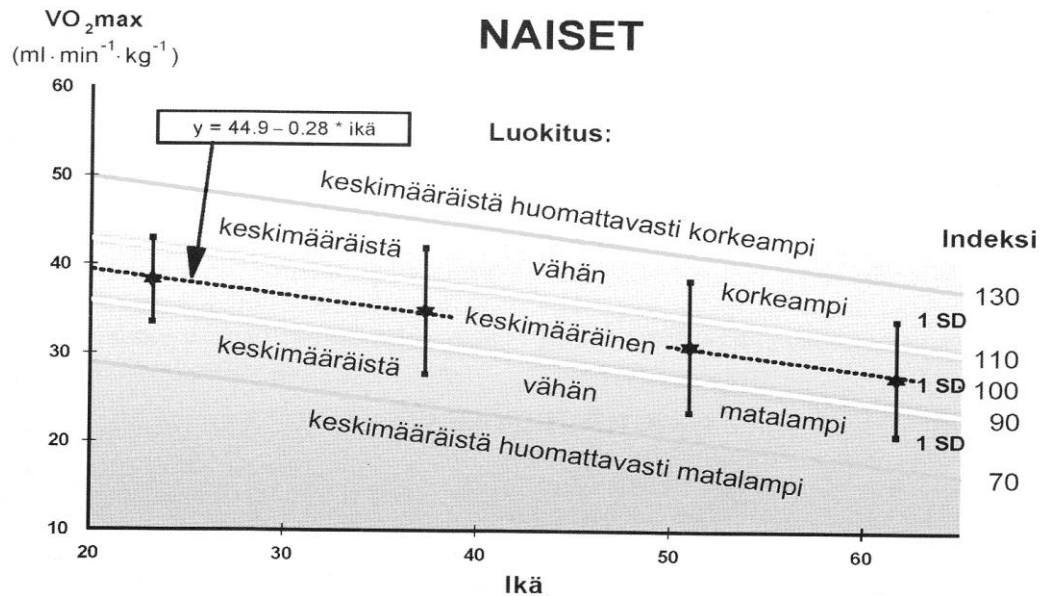
Naiset: indeksi: $304 - 8.5 \times \text{min} - 0.14 \times \text{s} - 0.32 \times \text{syke} + 0.4 \times \text{ikä} - 1.1 \times \text{BMI}$

Miehet: indeksi: $420 - 11.6 \times \text{min} - 0.2 \times \text{s} - 0.56 \times \text{syke} + 0.2 \times \text{ikä} - 2.6 \times \text{BMI}$

Oja ym. 1991 laati kuntoindekseistä viitearvot, jotka perustuivat suoran VO_2max mittauksen keskiarvoihin ja -hajontoihin eri ikäryhmissä. (Kuvat 7a ja 7b)



KUVA 7a. Miesten kuntoluokituksen muodostaminen UKK-kävelytestin alkuperäistutkimuksessa mitatun maksimaalisen hapenkulutuksen ($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$) keskiarvon ja -hajonnan (SD) mukaan (Laukkanen ym. 1992).



KUVA 7b. Naisten kuntoluokituksen muodostuminen UKK-kävelytestin alkuperäistutkimuksessa mitatun maksimaalisen hapenkulutuksen (ml/kg/min) keskiarvon ja – hajonnan (SD) mukaan (Laukkanen ym. 1992).

Kuntoindeksi 100 vastaa samanikäisten ja samaa sukupuolta olevien keskimääräistä kuntotasoa. Kuntoindeksi kertoo koehenkilön kuntotason viisiluokkaisella asteikolla samanikäisiin miehiin tai naisiin verrattuna ja maksimaalinen hapenkulutus painokiloa kohden minuutissa puolestaan maksimaalisen aerobisen suorituskyvyn. (Oja ym. 1991).

UKK-kävelytestin luotettavuustutkimusten osalta Laukkanen ym. (1993) totesi, että testi toimii normaalikuntoisilla ja ylipainoisilla miehillä ja naisilla. Hyväkuntoisille naisille sekä paljon harjoitteleville miehille testi on epätarkka (Oja ym. 1991). Testitulosten on myös havaittu olevan yhteydessä koettuun fyysiseen terveyteen ja vapaa-ajan liikunta-aktiivisuuteen sekä niissä tapahtuviin muutoksiin (Suni ym. 1998).

Edellä esitettyjen menetelmien lisäksi on olemassa lukuisia muita submaksimaalisen hapenoton testausmenetelmiä. Nämä edellä mainitut testausmenetelmät antavat käsityksen siitä, mihin testausmenetelmät perustuvat ja miten ne käytännössä tehdään. Muista suomessakin käytetyistä testausmenetelmistä esimerkiksi WHO:n, YMCA:n polkupyöräergometritesti ja näistä myöhemmin kehitetty FitWare polkupyöräergometritesti ovat kansainvälisesti standardoituja ja luotettavuudeltaan

hyviä testejä. Muista testityypeistä maininnan arvoisia ovat step- eli askellustestit. Näitä testejä ovat mm. Harvardin step- testi, Queen's College step-testi ja Siconolfin step-testi. Lisäksi testejä voidaan suorittaa juoksumatolla, jota varten on kehitetty mm. Balken ja Bruce'n juoksumattotesti. Käytettävä testi valitaan testaajan olosuhteiden ja testattavan ryhmän mukaan. Sen vuoksi kehitettyjä testausmenetelmiä protokolliseen on useita.

3.1.2 Non-exercise-menetelmät

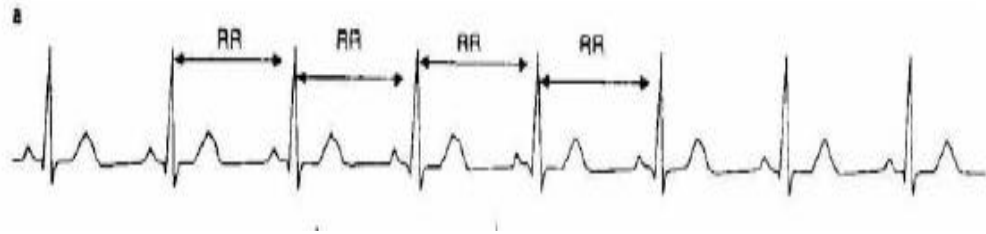
Viime aikoina on kehitetty maksimaalisen hapenoton ($VO_2\max$) regressiomalleja, jotka käyttävät hapenoton arvioimiseen hyödyksi muuttujia kuten, ikä, sukupuoli, kehon koostumus, ja fyysisen aktiivisuuden taso (George ym. 1997). Regressiomalleja on kehitetty erilaisille populaatioille kuten aikuisille miehille ja naisille, teiniurheilijoille, yliopisto-opiskelijoille, vanhemmille aikuisille, terveille malesialaisille ja intialaisille miehille (Malek ym. 2005).

George ym. (1997) tutkimuksessa yliopisto-opiskelijat käyttivät kyselypohjaisia arviointimuuttujia non-exercise -menetelmässä. Regressiomalli sisälsi a) testattavan prosentuaalisen kyvyn kävellä, hölkätä tai juosta annettu matka, b) yksilöllisen fyysisen aktiivisuuden tason, c) BMI-indeksin ja d) sukupuolen. Korrelaatioksi todellisen hapenottokyvyn ($VO_2\max$) kanssa saatiin $r = 0.85$.

Suomessa yksi käytetyimpiä menetelmiä lienee Polar kuntotesti. Polar kuntotesti käyttää ikää, sukupuolta, pituutta, painoa, itsearvioitua liikunta-aktiivisuutta ja sykevälivaihtelua yksilöllisen maksimaalisen hapenoton arvioimiseen (Väinämö ym. 1998; Kinnunen ym. 2000). Polar kuntotesti kehitettiin käyttämällä matriisilaskentaa ja epälineaarisia yhtälöitä, jotka on määritetty keinotekoisessa neuroverkossa. Sykevälivaihtelu voidaan mitata sydämen sähköisen rekisteröinnin (EKG) yhdestä kytkennästä käyttäen tietoja peräkkäisten R-aaltojen välin vaihtelusta, jota kutsutaan R-R intervalliksi. (Kuva 8.) RR-intervallit on nauhoitettu peräkkäisistä sydämen lyönneistä EKG:n rytmirekisteröinnin avulla 7 minuutin ajanjaksolla. Sykevälivaihtelu voidaan mitata myös pulssitaajuutta rekisteröivän laitteen pulssihavaintojen perusteella samalla tavalla, mutta aikaa mittaamalla (pulsitaajuuden vaihtelu seurantajakson

aikana). Aubert ym. (2003). Tämä jälkimmäinen tapa on käytössä useimmissa sykemittareissa, myös Polarin kuntotestissä.

Kolme parametria on laskettu pohjautuen suodatettuihin RR-intervalleihin: keskimääräinen RR-intervallin pituus, 99 % ja 1 – 99 % väli. Aerobista suorituskykyä ei ole arvioitu, jos RR-intervallit sisältävät yli 60 epänormaalit RR-intervallia tai epänormaalit RR-intervallit edustavat yli 25 % kaikista RR-intervalleista. (Borodulin 2002). Korrelaatio Polar kuntotestillä arvioidun aerobisen kunnan ja juoksumatolla tehdyn maksimitestin välillä on vaihdellut 0.8 – 0.95 (Kinnunen ym. 2000).



KUVA 8. Peräkkäiset R-R intervallit elektrokardiografialla mitattuna (Aubert ym. 2003).

Non-exercise-menetelmien potentiaalisena heikkoutena on se, että yleisesti käytössä olevat muuttujat kuten ikä, sukupuoli ja kehon koostumus voivat rajoittaa kykyä selvittää perinnöllisiä eroja hengitys- ja verenkiertoelimistössä. Lisäksi itseraportoidun fyysisen aktiivisuuden tason, jota käytetään non-exercise-menetelmissä, voidaan katsoa rajoittavan tarkkuutta kuvata henkilökohtaista harjoittelun tasoa. (George ym. 1997).

Non-exercise-menetelmien luotettavuuden voidaan todeta useiden tutkimusten pohjalta olevan luotettava tapa arvioida maksimaalista hapenottoa. Taulukossa 2. on esitetty kuuluisimpien non-exercise-menetelmien SEE (estimaatin keskivirhe) ja R (korrelaatio). Kaikissa tutkimuksissa tärkeitä muuttujia ovat sukupuoli, ikä, BMI tai kehon rasvaprosentti, itsearvioitu fyysinen aktiivisuus tai sydän- ja verenkiertoelimistön kunto.

TAULUKKO 2. Non-exercise-menetelmien luotettavuus. SEE (estimaatin keskivirhe) ja R (korrelaatio) ovat tutkijoiden raportoimia. (George 1997).

Tutkimus	VO ₂ max (ml x min ⁻¹ x kg ⁻¹)	R	SEE (ml x min ⁻¹ x kg ⁻¹)
N-EX -mallit:			
George ym. (1997)	44,05±6,6	0,86	3,34
Jackson ym. (1990)	38,99	0,81	5,35
Heil ym. (1995)	38,62±10,36	0,88	4,90
Ainsworth ym. (1992)	35,43	0,88	4,46

3.2 Suora maksimaalisen hapenoton mittausmenetelmä

Maksimaalista hapenottokykyä on perinteisesti pidetty tärkeimpänä yksittäisenä kestävyyskunnan mittarina. Maksimaalisen hapenkulutustestin perusideana on arvioida aerobista energiantuottokapasiteettia mittaamalla sisään- ja uloshengitysilman kaasupitoisuuksia (happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien erotus) ja hengitettävää ilmamäärää tietyssä ajassa (ventilaatio eli keuhkotuuletus) nousevatehoisessa kuormituksessa. Testissä mitataan yleensä myös kapillaariveren laktaattipitoisuutta anaerobisen energiantuotannon arvioimiseksi. Testi tapahtuu juoksumatolla tai erilaisilla ergometreillä, ja kuormitusta nostetaan kevyestä lihastyöstä portaittain 2–4 minuutin välein urheilijan subjektiiviseen maksimiin eli uupumukseen asti. Testin kesto on tyypillisesti 20–30 minuuttia. (Mikkola 2014). Maksimaalinen hapenottokyky on lajispesifi suure, joten testitavalla on merkitystä. Urheilijat pääsevät korkeimpaan hapenottoon sillä testaustavalla, jolla he harjoittelevatkin eniten eli ns. omassa lajissaan.

Testiprotokolla (aloituskuorma, kuormien kesto ja nostot) valitaan huomioiden testattavan kuntotaso ja tausta (ikä, sukupuoli, harjoitustausta, mahdolliset aikaisemmat testit). Testiprotokollana voidaan käyttää pitkää testiä, jossa voidaan määrittää jokaisen kuormitustason jälkeen veren laktaattipitoisuus, tai lyhyttä testiä, jos testin ainoa tarkoitus on määrittää maksimaalinen hapenottokyky. (Liikuntalääketiede 2005). Erityisesti testi tulee aloittaa riittävän matalalta teholta kuntotason nähden, jotta testitulokset voidaan tulkita luotettavasti. Maksimaalinen hapenkulutus määritetään usein testin suurimman hapenkulutusminuutin keskiarvona. Maksimaalinen

hapenottokyky kuvaa elimistön hapellista energiantuottokapasiteettia. Tämä kapasiteetti muodostuu hengitys- ja verenkiertoelimistön kyvystä kuljettaa happea lihaksille sekä lihasten kyvystä käyttää happea energiantuotantoon. (Mikkola 2014).

Hapenottokyky voidaan ilmoittaa sekä absoluuttisena arvona (l/min), että painoon suhteutettuna (ml/kg/min). Absoluuttinen arvo on merkityksellinen erityisesti ”välinelajeissa”, joissa kehonpainoa ei tarvitse nostaa/kannatella (esim. soutu, melonta, ratapyöräily), kun taas painoon suhteutettu hapenottokyky on oleellinen esimerkiksi kestävyysjuoksussa. Tosin kehon painoon suhteutettu $VO_2\max$ ei anna vertailukelpoisia arvoja erityisesti kaikkein keveimpien ja painavimpien ihmisten vertailussa. Sen vuoksi on otettu käyttöön myös kehon paino potenssiin $2/3$ tai $3/4$ suhteutettu arvo ($ml/kg^{2/3} \times min^{-1}$ ja $ml/kg^{3/4} \times min^{-1}$), joista kehon paino potenssiin $2/3$ on ollut yleisimmin käytössä. (Kuntotestauksen käsikirja 2004).

3.3 Maksimaalisen hapenoton arviointiin liittyvät ongelmat

Maksimaalisen hapenkulutuksen mittaaminen automaattisilla hengityskaasuanalyysaattoreilla on luotettava, tarkka ja toistettava menetelmä aerobisen suorituskyvyn määrittämiseksi. Menetelmä vaatii kuitenkin kalliit laitteet, laboratorioolosuhteet ja erikoiskoulutetun henkilökunnan. Tutkittavaa kuormitetaan maksimaalisesti, jolloin myös lääkärin läsnäolo on suotavaa. (Liikuntalääketiede 2005). Maksimaalisen hapenoton ennustamista vaikeuttava ja usein tuloksia vääristävä tekijä on henkilön maksimisyke. Maksimisyke voidaan ennustaa myös iän perusteella. Kaavana toimii yleensä 220 miinus ikä. (ACSM 2000). Robergs ym. (2002) tutkivat yhteensä 38 kpl maksimisykkeen arviointikaavaa ja he päättelivät, että useissa kaavoissa oli jopa yli kymmenen lyönnin virhearvio. Heidän mukaansa tarkimman arvon maksimaaliselle sykkeelle antaa tällä hetkellä ns. Inbarin kaava:

$$HR_{\max} = 205.8 - 0.685 \times (\text{ikä})$$

Suomessa yleisimmin käytössä oleva arviomenetelmä puolestaan on WHO:n submaksimaalisessa testissä käytetty kaava:

$$\text{HR}_{\text{max}} = 210 - 0.65 \times (\text{ikä})$$

Submaksimaalisessa testissä merkittävässä roolissa olevaan sykkeeseen vaikuttavat monet tekijät kuten ympäristön lämpötila ja ilmankosteus, terveyden taso ja mieli sekä erityisesti lääkeaineet esim. beetasalpaajat ja piristeet kuten kahvi (Okura ym. 2001).

Lisäksi sykkeen ja hapenkulutuksen väliseen yhteyteen steady-state työssä vaikuttavat monet yksilöstä lähtöisin olevat tekijät. Näitä vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi: lihastyötapana (dynaaminen, staattinen, konsentrinen, eksentrinen), työskentelevä lihasmassa (yläraajat, alaraajat, koko vartalo), kuormitusmuoto (juoksu, pyöräily, soutu jne.), kehon asento (istuen, seisten, maaten). (Åstrand ym. 1986).

Maksimaalisen hapenottokyvyn ennustamiseen perustuvien menetelmien heikkoudeksi voidaan laskea myös se, että syke ja maksimaalinen hapenottokyky eivät kaikkien ihmisten kohdalla nouse lineaarisesti kuormituksen intensiteetin kasvaessa, vaikka menetelmissä niin oletetaan. Raskaassa kuormituksessa VO_2max voi nousta korkeammalle, kuin mitä sykkeen nousun perusteella voisi olettaa. (Davies 1968).

Epäsuorien submaksimaalisten VO_2max :n arviointimenetelmien ennustustarkkuuden on yleisesti arvioitu olevan noin $\pm 10\%$ luokkaa. Tutkimukset ovat osoittaneet, että arvioidun ja mitatun maksimaalisen hapenkulutuksen välisen korrelaation on havaittu olevan välillä 0.59 - 0.95 sekä yhden kuorman että portaittaisissa testeissä. Submaksimaalisen polkupyöräergometrin perusteella ennustetun maksimaalisen hapenkulutuksen on raportoitu puolestaan poikkeavan mitatusta maksimaalisesta hapenkulutusravosta jopa noin 7-27 %. (Greiwe ym. 1995).

Epäsuoriin arviointimenetelmiin liittyvän ennustevirheen suuntaa on etukäteen vaikea arvioida. Tästä johtuen erilaisten epäsuorien maksimaalisten aerobisen tehon arviointimenetelmien antamia tuloksia ei pitäisi verrata keskenään, vaan tuloksia olisi käytettävä lähinnä yksilöllisten kuntomuutosten seuraamiseen. Kunto- ja terveystoimintojen testauksen tarkkuuden ei tarvitse olla samaa luokkaa, kuin urheilijoiden suorituskykytesteissä. Urheilijoiden testauksessa käytetään useimmiten suoria testimenetelmiä, koska testeiltä vaaditaan suurta mittaustarkkuutta. Urheilijoiden kestävyysominaisuudet ovat jo valmiiksi erinomaiset, minkä takia vuosittainen kehitys

on usein vain 1 - 3 prosenttia. Testien tarkkuuden pitää urheilijoiden testauksessa olla tätä parempi. Kuntoilijoiden testauksessa on usein tarkoituksenmukaisempaa käyttää hapenkulutuksen arviointia epäsuorilla menetelmillä. (Liikuntalääketiede 2005).

Non-exercise -menetelmien osalta kehitystyö näyttää jatkuvan edelleen kovalla vauhdilla. Tutkimukset osoittavat, että todella tarkkaa testiä ei ole vielä pystytty kehittämään, vaikka tietyillä populaatioilla hyviä tuloksia antavia arviointimenetelmiä onkin saatu kehitettyä. Non-exercise-menetelmien keskeisimpänä ongelmana on koehenkilön itsensä raportoima fyysisen aktiivisuuden taso. Koehenkilön oma arvio liikunnan määrästä sekä tehosta on usein epätarkka. Itsearviointin epätarkkuutta lisää se, että arvion tekee maallikko eikä asiantuntija ja tutkittavan oma käsitys kunnostaan ja suorituskyvystään vääristää aktiivisuusarvion lopputulosta.

4 BIOIMPEDANSSIANALYYSI (BIA)

4.1 Tausta

Sähköisiä ominaisuuksia kudoksissa on kirjallisuudessa kuvattu vuodesta 1871 alkaen ja analysoitu sekä terveissä että vaurioituneissa kudoksissa (Kyle ym. 2004). Thomasset ym. (1963) alkuperäistutkimuksissa käytettiin kahden ihonalaisen neulan välistä sähköisen impedanssin mittausta kehon kokonaisnestemäärän (total body water, TBW) indeksinä.

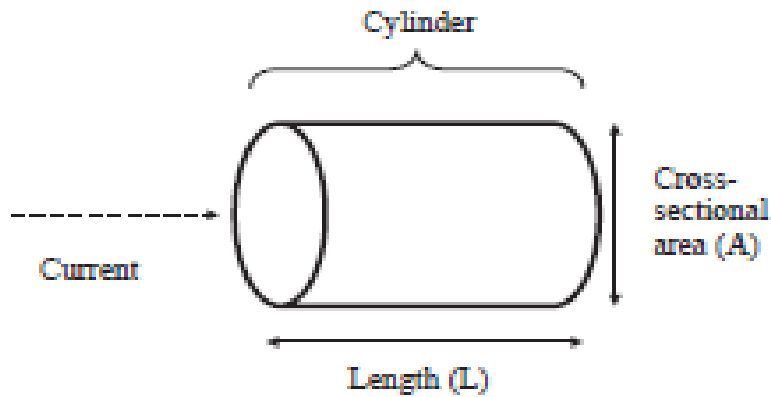
1970-luvulle mennessä luotiin BIA:n perusteet. Tien näyttäjänä olivat Hoffer ym. (1969) ja Nyboer (1970), joiden tutkimuksissa käytettiin neljän pintaelektrodin tekniikkaa. Pintaelektrodien huono puoli on tarvittava korkea virta ja jännite.

Alkuun bioimpedanssimittausmenetelmiä käytettiin lähinnä lääketieteellisessä tutkimuksessa määrittämään mm. kehon nestetilavuutta, kehon koostumusta ja lihasmassaa. Kaupalliseen käyttöön yksitaajuiset BIA-laitteet tulivat sen jälkeen vähitellen, käyttötarkoituksena lähinnä kehonkoostumusmittaus bioimpedanssimittausten perusteella arvioituna. 1990-luvulla yleistyivät monitaajuisanalysointorit samaan käyttötarkoitukseen. Käytön yleistymiseen johtivat helposti liikuteltavat kevyet laitteet, noninvasiivinen mittausmenetelmä, tutkimustulosten nopea saatavuus ja hyvä toistettavuus. (Kyle ym. 2004).

4.2 Bioimpedanssianalyysin määritelmä

Homogeenisen johtavan materiaalin resistanssi (R) on koko matkalta verrannollinen sen pituuteen (L) ja kääntäen verrannollinen sen poikkipinta-alaan (A). (Kuva 9.) Vaikka keho ei ole yhtenäinen sylinteri ja sen johtavuus ei ole vakio, kokeellinen suhde voidaan muodostaa käyttämällä impedanssiyhtälöä (L^2/R) ja kehon nestemäärää, joka toimii johtimena elektrolyyttien johdosta. Käytännössä pituutena (L) käytetään henkilön pituutta, eikä niin kutsuttua johdinpituutta nilkasta ranteeseen. Kehon rasvattomasta

massasta (lean body mass) noin 73 % on nestettä. Tästä saadaan empiirinen suhde rasvattoman massan ja impedanssiyhtälön välille. (Kyle ym. 2004).

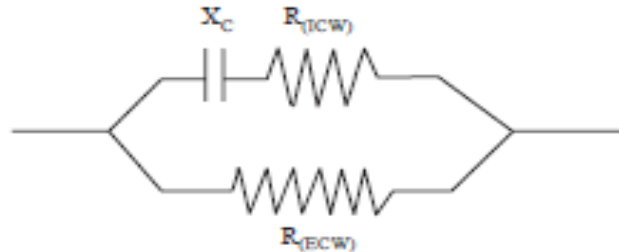


KUVA 9. Homogeenisen johtavan materiaalin resistanssi (R) on koko matkalta verrannollinen sen pituuteen (L) ja kääntäen verrannollinen sen poikkipinta-alaan (A) (Kyle ym. 2004).

Mittausten analyysia vaikeuttaa se, että kehon koostumus ei ole homogeeninen, siksi kehon koostumus täytyy sovittaa geometristä sylinteriä kuvaavaa kaavaa varten erilaisten kehonosia ja koostumusta huomioivien kertoimien avulla. Lisäksi eri kehonosia käsitellään matemaattisesti, kuten ne olisivat kytketty sarjaan toistensa kanssa, jos eri kehonosia on mitattu erikseen. (Kyle ym. 2004).

Toinen laskennallisuutta vaikeuttava tekijä on se, että kehossa on kahdenlaista resistanssia: 1) Kapasitiivinen R_k eli reaktanssi, joka johtuu solukalvoista ja 2) resistiivinen R_r eli resistanssi, joka johtuu extra- ja intrasellulaarisesta nesteestä. Näiden yhdistelmää käsitellään impedanssina. Erilaisia sähköisten piirimallien mukaisia laskentatapoja on olemassa kehon in vivo-impedanssin mallintamiseen. (Gudivaka ym. 1999). Lisäksi voidaan käyttää eri taajuuksia mittauksissa, mutta yleisin yksitaajuusmittauksissa on 50 kHz. 50 kHz:n virta läpäisee sekä intra-, että extrasellulaarinesteen. (Kuva 10.) Läpäisevyysuhde kuitenkin vaihtelee kudoksesta ja kudostyyppistä toiseen. (Kyle ym. 2004).

Fricke's circuit
 Two parallel electrical conductors:
 $R_{(ECW)}: H_2O-Na$
 $R_{(ICW)}: H_2O-K$
 isolated by a cell membrane (X_c)



KUVA 10. Jos mallinnetaan kehoa resistanssin ja kapasitanssin rinnan kytkennällä, kulkee läpimenvirta korkeilla taajuuksilla intrasellulaaritalan kautta ja matalilla taajuuksilla extrasellulaaritalan kautta. 50 kHz:n virta läpäisee molemmat tilat. (Kyle ym. 2004).

Yksinkertaisesti esitettynä kokoomateoria (*mixing theory*) olettaa, että sähköä johtavan nesteen R kasvaa, kun sähköä johtamattoman materian määrä siinä kasvaa. Sähköä johtamaton materia kuvaa soluja tässä olettamassa. (Kyle ym. 2004).

Kapasitanssin ja reaktanssin suhde on tutkimusten kannalta kiinnostava, koska se kuvaa kudosten sähköisiä ominaisuuksia esim. ravitsemustilan, sairaustilojen tai nestetasapainon vaihdellessa. Tätä suhdetta kuvaamaan on yritetty kehittää matemaattisia kuvaajia, jotta saataisiin eri sairaustilat erottumaan yhtenäisinä joukkoina. (Piccoli ym. 1994). Tällä voi olla tulevaisuudessa merkitystä diagnostiikan ja ennusteen määrittämisen kannalta, mutta Piccolin ym. (1994) tutkimukset eivät vielä anna siihen riittävästi informaatiota.

4.3 Bioimpedanssianalyysin menetöt

4.3.1 Yksitaajuusmenetelmä (single frequency BIA)

Yhden taajuuden menetelmässä käytetään yleensä 50 kHz taajuutta kulkemaan pintaelektrodien välillä. Elektrodit sijoitellaan raajoihin, ja kytketään yleensä käteen ja jalkaan, tai ranteeseen ja nilkkaan. (Kuva 11.) Joissakin BIA laitteissa käytetään muita pintaelektrodien sijoittelua, kuten jalasta jalkaan tai kädestä käteen linjausta. (Jebb ym.

2000). Tarkasti ottaen yksitaajuus-BIA ei mittaa kehon kokonaisnesteen resistanssia, vaan painotetusti intrasellulaari- ja extrasellulaarinnesteen summan resistiivisyyttä. Se antaa kuitenkin hyvän arvion rasvattomasta massasta ja kehon kokonaisnestemäärästä. Määrittely-yhtälöt perustuvat terveistä koehenkilöistä tiukoissa koeolosuhteissa tehtyihin mittauksiin ja niistä johdettuihin teoreettisiin yhtälöihin. Yksitaajuusmittaus toimii riittävän luotettavasti normaalissa nestetasapainossa, mutta se ei sovellu nestetasapainon häiriötiloissa käytettäväksi. (Kyle ym. 2004).

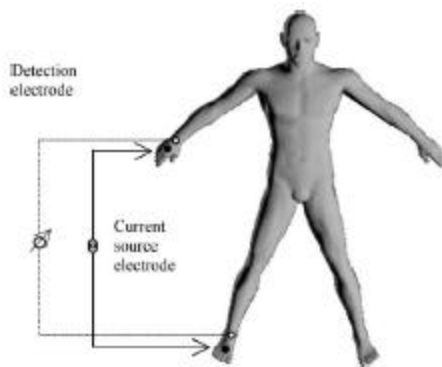


Figure 5 Standard placement of electrodes on hand and wrist and foot and ankle for tetrapolar single (SF-BIA) and multiple-frequency (MF-BIA) BIA.

KUVA 11. Elektrodiin standardisijoittelu raajoissa nelisuuntaisen signaalin saamiseksi (Kyle ym. 2004).

4.3.2 Monitaajuusmenetelmä (multi-frequency BIA)

Monitaajuus-BIA perustuu myös empiirisiin regressiomallinnuksiin, mutta siinä käytetään impedanssimittausta useammilla taajuuksilla. Monitaajuusmittauksissa eri taajuuksia käytetään eri nestetilöiden arviointiin. Alle 5kHz:n taajuuksilla ja yli 200kHz:n taajuuksilla on havaittu huono toistettavuus etenkin reaktanssin osalta. (Kyle ym. 2004). Patelin ym. (1996) tutkimuksissa monitaajuus-BIA oli tarkempi ja vähemmän altis virheille extrasellulaarinnesteen määrän arvioinnissa, kun taas yksitaajuus-BIA osoittautui kriittisesti sairailta tarkemmaksi arvioimaan kehon kokonaisnestemäärää. Kuitenkin Olde-Rickert ym. (1997) tutkimuksessaan havaitsi, että monitaajuus-BIA:lla

ei kyetä havaitsemaan nesteen liikkeitä eri nestetilojen välillä (extrasellulaaritalan ja intrasellulaaritalan välillä) vanhuspotilailla.

4.3.3 Segmentaalinen BIA (Segmental BIA)

Kehon koostumus ja nestemäärä ovat epähomogeenisia, jonka johdosta osittaista kehon mittausta (segmental BIA) ei ole saatu riittävän tarkaksi menetelmäksi arvioimaan koko kehon nestejakaumaa ja nestetilavuutta, ja sitä kautta kehon rasvatonta painoa valikoimattomassa väestössä. Koko kehon mittausmenetelmää tukee mm. se, että vartalon poikkileikkauspinta-ala vastaa vain noin 10%:sta koko kehon impedanssista, vaikka se kattaa n.50% koko kehon painosta. Impedanssin vaihteluun vaikuttaakin suhteellisesti enemmän raajojen rasvattoman painon muutokset, kuin vartalon alueen rasvattoman painon muutokset. Lisäksi vartalon alueen nestekertymät, esim. vatsaontelon askites eli vatsaonteloon eri sairauksissa kertyvä neste, vaikuttavat impedanssiin, mutta eivät merkittävästi kehon rasvattomaan painoon. Tutkimuksia tämän menetelmän osalta vaaditaan lisää, jotta menetelmän tarkkuus paranisi. (Kyle ym. 2004).

4.4 Maksimaalisen hapenoton arviointi bioimpedanssin avulla

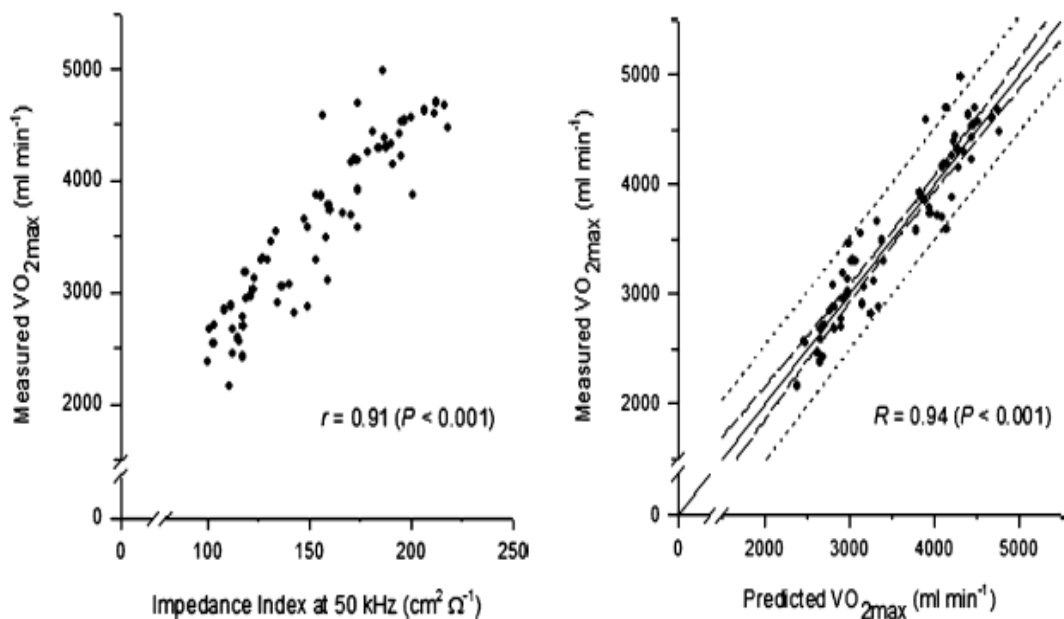
Bioimpedanssimittausmenetelmät yksinään käytettyinä ovat yhtä epäluotettavia maksimaalisen hapenoton arvioinnissa, kuin muut epäsuorat non-exercise-menetelmät. Tästä syystä bioimpedanssin mittaukseen on liitetty muita tarkentavia menetelmiä tai suureita, joilla maksimaalisen hapenottokyvyn arviointitarkkuutta voidaan parantaa. (Stahn ym. 2005). Maksimaalista hapenoton arviota bioimpedanssin avulla käsittelevässä tutkimuksessa Stahn ym. (2005) 66 nuorta, tervettä miestä ja naista osallistui tutkimukseen, jossa käytettiin apuna George ym. (1997) kehittämää yksilöllisen fyysisen aktiivisuuden tason määrittämistä kyselytutkimuksella sekä bioimpedanssianalyysiä kehon koostumuksen määrittämiseen. Tutkimuksen tarkoituksena oli yhdistää itsearvioitu fyysisen aktiivisuuden taso sellaisten levossa mitattujen fysiologisten muuttujien kanssa, jotka ovat tärkeitä arvioitaessa maksimaalista hapenottoa. Tutkimus pohjautui fyysisen aktiivisuuden määrittelyyn NASA:n Johnson

Space Centerin arviointiasteikkoon (PA-R) ja toisaalta tietoon, että verimäärän osuus on jopa 80 % VO₂max:n vaihtelusta (George ym. 1997; Warburton ym. 2000). Warburton ym. (2000) totesi myös, että verimäärän ja maksimaalisen hapenoton korkean korrelaatio-suhteen voi selittää verimäärän ja kokonaishemoglobiinimassan avulla.

Verimäärän lisäksi rasvattoman massan, virtsan kreatiinikinaasin erittymisen ja koko kehon kaliumin on osoitettu korreloivan voimakkaasti maksimaalisen hapenoton kanssa. Tämä johtuu siitä, että ne ovat suureita, jotka kuvaavat luurankolihaslihasmassan määrää. (Toth ym. 1993). Luurankolihasmassalla on osoitettu olevan korkea korrelaatio suhteessa maksimaaliseen hapenottoon (Sanada ym. 2005).

Tutkimuksessa käytetty bioimpedanssianalyysi pohjautui tietoihin, joiden mukaan bioimpedanssianalyysin avulla saadut perusparametrit korreloivat voimakkaasti luurankolihasmassan ja veriparametrien, kuten hematokriitin ja verimäärän, kanssa (Janssen ym. 2000). Stahn ym. (2004) puolestaan käytti bioimpedanssianalyysissään impedanssi-indeksiä (H^2/Z) riippumattomana muuttujana. Monet muut tutkimukset (Elia ym. 2000; Fuller ym. 1999; Janssen ym. 2000) tukevat nimenomaan impedanssi-indeksiä käyttökelpoisena arvioitaessa luurankolihasmassaa tai kehon segmenttien lihasmassaa. Yksitaajuinenkin bioimpedanssianalyysi 50 kHz taajuudella on todettu luotettavaksi menetelmäksi arvioitaessa lihasmassaa (Elia ym. 2000; Fuller ym. 1999; Janssen ym. 2000).

Johtopäätökseksi Stahn ym. (2005) tutkimuksessa saatiin, että impedanssi - indeksi korreloi merkittävästi mitatun maksimaalisen hapenoton kanssa ($r=0.914$) 18 – 34 vuotiailla terveillä miehillä ja naisilla. (Kuva 12.)



KUVA 12. Impedanssi-indeksin suhde mitattuun maksimaaliseen hapenottoon sekä arvioidun maksimaalisen hapenoton suhde mitattuun arvoon (Stahn ym. 2005).

Stahn ym. (2008) yritti vielä tarkentaa bioimpedanssin ennustetarkkuutta ja tutki koko kehon ja segmentaalisen monitaajuisen bioimpedanssianalyysin eroja non-exercise -menetelminä maksimaalisen hapenottokyvyn (VO₂max) määrittämiseksi. Tutkimusryhmässä 115 naiselta ja mieheltä määritettiin maksimaalinen hapenottokyky, mitattiin kehon koostumus ja kyselytutkimuksella selvitettiin fyysinen aktiivisuus. Tutkimuksessa verrattiin koko kehon mittausta ja segmentaalista mittausta, mutta näille ei saatu merkitsevää eroa. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin aiemman 50 kHz:n taajuuden lisäksi monitaajuusmittauksia 1000 kHz:iin asti. Ennustemallin luomisessa käytettiin monilineaarista regressioanalyysiä (*multiple linear regression analysis*). Tutkimuksessa Stahn ym. (2008) havaitsi eri taajuuksia vertailemalla, että käyttämällä bioimpedanssi-indeksiä ja bioimpedanssin mittauksessa taajuutta 500 kHz taajuuden 50 kHz sijaan, korreloi tulos paremmin mitatun VO₂max:in kanssa. (r=0.89). Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. (p< 0.05).

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESI

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää voidaanko bioimpedanssianalyysin avulla arvioida maksimaalista hapenottoa nuorilla varusmiehillä. Tutkimuksen tavoitteenasettelussa nähtiin mahdollisuus hyödyntää non-exercise-menetelmää varusmiesten aerobisen kunnon määrittämisessä helpottamassa varusmiesten jakoa ryhmiin fyysisen kunnon mukaan alokaskaudella. Haluttiin myös selvittää muuttujien kuten fyysisen aktiivisuuden, BMI:n, kehon rasvaprosentin ja painon merkitystä maksimaalisen hapenoton arvion tarkkuuteen. Aiemmin bioimpedanssia on käytetty itsenäisenä arviointimenetelmänä, sekä yhdistettynä fyysisen aktiivisuuden arvioon ja sukupuoleen (Stahn ym. 2005). Nyt tarkasteltiin lähemmin myös muita bioimpedanssimittauksessa saatuja suureita, kuten rasvaprosenttia sekä bioimpedanssissa käytettyjä eri taajuuksia. Tutkimuksen motivaattorina toimi myös henkilökohtainen havainto bioimpedanssianalyysiin perustuvien kehonkoostumusmittareiden yleisyydestä kuntokeskuksissa. Voisiko näillä laitteilla arvioida samalla myös kuntoilijoiden maksimaalista hapenottoa?

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Tämän Pro gradu -tutkielman aineisto on osa laajempaa tutkimusta, joka toteutettiin vuonna 2006 Kainuun Prikaatiin viestikomppanian tammikuun saapumiserän alokkeilla peruskoulutuskauden aikana. Tutkimuksen suunnittelusta ja toteutuksesta vastasivat Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitos yhteistyössä Puolustusvoimien Kainuun Prikaatin kanssa. Tutkittavina toimivat vapaaehtoiseksi tutkimukseen ilmoittautuneet varusmiehet, jotka palvelivat Pohjois-Suomen viestipataljoonassa (P-SPV). Varusmiehet astuivat palvelukseen 1/2006. Tarkoituksena oli testata terveillä nuorilla miehillä maksimaalisen hapenottokyvyn ennustettavuutta impedanssianalyysillä mitattujen suureiden ja fyysisen aktiivisuuden avulla. Tutkittavien keski-ikä oli 19.1 ± 0.3 vuotta.

Tutkimukseen ilmoittautui 131 vapaaehtoista alokasta. Alkuperäisten vapaaehtoisten tutkittavien joukosta 47 suljettiin tutkimuksen ulkopuolelle hengitys- ja verenkiertoelimistön tai liikuntaelimistön sairauksien perusteella. Jäljelle jääneet 84 tutkittavaa jaettiin aktiivi-, harraste- ja perustasoryhmään varusmiespalvelusta edeltävän liikunta-aktiivisuuden perusteella. Jokaisesta ryhmästä valittiin satunnaisesti 20 tutkittavaa lopulliseen tutkimusjoukkoon. Tällä pyrittiin varmistamaan, että tutkimusjoukko sisälsi tasaisesti kunkin fyysisen aktiivisuuden ja kuntoluokan edustajia. Kaikki tutkimustulokset saatiin rekisteröityä 58:ltä tutkittavalta tammikuun 2006 aikana.

Tutkimukseen rekrytointivaiheessa tutkittaville selvitettiin kirjallisesti tai suullisesti tutkimuksessa käytetyt menetelmät, riskitekijät ja oikeudet, kuten testin vapaaehtoisuus. Tämän jälkeen tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen. Tutkittavat olivat myös tietosuojaan takia numeroitu eli heidän henkilöllisyytensä ei selvinnyt ulkopuolisille. Testaushenkilöstö oli saanut ensiapukoulutuksen turvallisuuden vuoksi. Tutkimuksen

protokolla hyväksyttiin Suomen Puolustusvoimilla sekä Jyväskylän yliopiston ja Kainuun maakuntayhtymän eettisellä toimikunnalla.

6.2 Testiprotokolla

Alokkaille suoritettiin mittauksia 10.1-14.1.2006 välisenä aikana neljän päivän aikana Vuokatin Snowpoliksessa ja 18.1-19.1.2006 kahden päivän aikana Kainuun Prikaatissa. Mittaukset Snowpoliksessa aloitettiin jokaisena mittauspäivänä kello 7.00 fysiologian laboratoriossa ja niitä jatkettiin koko päivän ajan. Ensimmäisenä mittauksena suoritettiin antropometriset mittaukset. Tämän jälkeen tutkittavat suorittivat tähän tutkimukseen kuulumattomia mittauksia ja niiden jälkeen suoritettiin maksimaalisen hapenoton testi juoksumatolla. Kainuun Prikaatissa suoritettiin bioimpedanssi-analyysi, siten että aamulla klo 6.45-8.00 välisenä aikana tehtiin analyysi puolelle koehenkilöistä kumpanakin päivänä.

6.3 Mittaukset

6.3.1 Antropometriset mittaukset

Antropometrisissä mittauksissa koehenkilöiltä mitattiin pituus, kehon paino ja rasvaprosentti sekä ympärysmitta raajoista, vyötäröstä, lantiosta. Rasvaprosentti mitattiin pihtimittauksella 4 pisteen ihopoimiumittausmenetelmää käyttäen. Neljä mittauspistettä sijaitsevat hauksessa, ojentajassa, vatsassa (suoliluu) sekä selässä (lavanalus) (Fox ym. 2000). Lopullinen tutkimuksessa käytetty rasvaprosenttiarvo saatiin ihopoimiumittausta tarkemmalla bioimpedanssianalyysillä määritetyllä mittauksella.

6.3.2 Maksimaalinen hapenotto

Maksimaalisen hapenoton mittaus suoritettiin juoksumatolla (OJK-2, Kotkan telineyhtymä, Kotka, Suomi). Tutkittavan juoksumattotesti tehtiin jokaisena testipäivänä samana ajankohtana. Juoksumattotestin lämmittely sisälsi kolmen minuutin kävelyn nopeudella 4.6 km/h ja kolmen minuutin kävelyn/hölkän nopeudella 6.3 km/h. Lämmittelyn jälkeen kuormituksen intensiteettiä kasvatettiin kolmen minuutin välein teoreettisen hapenkulutuksen (6 ml/kg/min) mukaisesti uupumukseen asti (ACSM 2001). Koehenkilöille laitettiin testin ajaksi valjaat turvallisuuden vuoksi. Hengityskaasu- ja ventilaatiodata analysoitiin minuutin intervaleissa.

Juoksumattotestin aikana sykettä mitattiin viiden sekunnin tallennusvälein (Polar810i; Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Lisäksi tutkittavien veren laktaattipitoisuus mitattiin minuutti testin päättymisestä (LactatePro®, Arkray, Japani). Juoksumattotestin maksimaalisuuden kriteerit täyttyivät, kun sykearvo ei kasvanut juoksumaton nopeuden tai kulman kasvattamisesta huolimatta, hengitysosamäärä oli suurempi kuin 1.1 ja maksimitestin jälkeen mitattu veren laktaatti oli korkeampi kuin 8 mmol/L. Keuhkojen ventilaatio – ja hengityskaasudata mitattiin jatkuva-aikaisesti henkäys-henkäykseltä (hengityskaasuanalysaattori, Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa).

6.3.3 Bioimpedanssianalyysi

Bioimpedanssimittauksessa koehenkilöt asetettiin seisaalleen bioimpedanssi-analysaattoriin (InBody 720, Biospace Co. Ltd, Etelä-Korea), jolla mitattiin kehon koostumus. Analysaattoriin syötettiin ennen testiä tutkittavan pituus, sukupuoli ja ikä. Tutkittavat olivat paljain jaloin, päällään puolustusvoimien urheiluvälineistö, eli t-paita ja verryttelyhousut tai shortsit. Tutkittaville annettiin ennen testiä elektrolyytinesteellä kostutettu käsipyyhe, jolla he kostuttivat kämmeniään ja jalkapohjiaan. Kostuttamisen jälkeen pyyhkeet asetettiin jalansijoille ja koehenkilö nousi seisomaan analysaattorin päälle ja otti käteensä mittauskahvat. Mittauksen aikana koehenkilöt pitivät käsiään hieman koholla, jolla varmistettiin, että sähkövirta pääsee kulkemaan jalkojen alla

olevien elektrodien ja kahvoissa olevien elektrodien kautta koko kehon läpi. Mittaus oli kestoltaan noin kaksi minuuttia. Bioimpedanssi-analysaattorista koehenkilöt saivat tietoa kehonsa kokonaispainosta, kehon rasvattomasta massasta, lihasmassasta, rasvakudoksen määrästä, rasvaprosentista, kehon nestetasapainosta (solun ulkoiset nesteet/solun sisäiset nesteet), lihastasapainosta (kädet, jalat ja keskivartalo), raajojen puolieroista, vyötärö-/lantiosuhteesta (WHR), segmentaalisesta lihasjakaumasta sekä viskeraalirasvasta.

Mittaukset suoritettiin aamuisin, kello 6 ja 7 välillä. Mittauksia edelsi yön yli paasto sekä rasituksen välttäminen 12 tuntia ennen mittaustilannetta. Lisäksi tutkittavien varusmiespalvelusohjelman mittausta edeltävä päivä suunniteltiin fyysiseltä aktiivisuudeltaan kevyeksi. Nestetasapaino arvioitiin tasapainoiseksi ravitsemuspäiväkirjan merkintöjen perusteella.

6.4 Fyysisen aktiivisuuden kysely

Jokaiselle tutkittavalle suoritettiin alkuperäisestä liikunta-aktiivisuuskyselystä ja jaottelusta riippumaton fyysisen aktiivisuuden arviointi kahdeksanportaisen Jacksonin kyselyn mukaan (Jackson 2007), jossa 0= pienin fyysisen aktiivisuuden luokka eli välttää fyysistä aktiviteettia esimerkiksi kävelyä ja 7= korkein fyysisen aktiivisuuden luokka, eli juoksee yli 15km viikossa. Kyselyssä tutkittava valitsee ensin lihavoidulla merkityn liikuntaharrastuneisuuttaan kuvaavan kohdan ja sen alta täsmällisen arvion omasta liikunta-aktiivisuudestaan. Tätä käytettiin lopullisessa tutkimusaineistossa fyysisen aktiivisuuden arviointituloksena.

Tutkittavan oma arvio fyysisestä aktiivisuudesta:

En harrasta säännöllistä vapaa-ajan liikuntaa tai raskaita fyysisiä ponnisteluja

0 - Vältän kävelyä ja ylimääräistä ponnistelua, esim käytän aina liukuportaita ja kävelyn sijasta ajan autolla aina kun se on mahdollista

1 - Kävelen huvini vuoksi, käytän pääasiassa portaita, toisinaan harrastan liikuntaa niin, että hikoilen ja hengästyn

Harrastan säännöllistä vapaa-ajan liikuntaa tai teen töitä, jotka vaativat kohtuullista fyysistä ponnistelua, esim. Golf, ratsastus, voimistelu, pöytätennis, keilailu, kuntosali-harjoittelu tai puutarhatyöt

2 - Harrastan liikuntaa 10 - 60 minuuttia viikossa

3 - Harrastan liikuntaa yli tunnin viikossa

Harrastan säännöllisesti raskasta vapaa-ajan liikuntaa, esim. juoksua tai holkkaa, uintia, pyöräilyä, soutua, naruhyppelyä tai muuta raskasta aerobisesti kuormittavaa lajia, kuten tennis, kori- tai käsipallo

4 - Juoksen vähemmän kuin 2 km viikossa tai harrastan vähemmän kuin 30 min rasitukseltaan vastaavanlaista lajia

5 - Juoksen 2 - 10 km viikossa tai harrastan 30 - 60 min rasitukseltaan vastaavanlaista lajia

6 - Juoksen 10 - 15 km viikossa tai harrastan 1 - 3 tuntia rasitukseltaan vastaavanlaista lajia

7 - Juoksen 15 km viikossa tai harrastan yli 3 tuntia rasitukseltaan vastaavanlaista lajia

6.5 Tilastollinen analyysi

Tilastollinen analyysi suoritettiin SPSS 21.0 Windows-ohjelmalla (SPSS statistics 21.0; SPSS Inc., Chicago, USA). Muuttujista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat ($K-A \pm SD$) ja niiden normaalijakaumatarkastelut tehtiin Kolmogorov-Smirnov-testillä. Muuttujien välistä yhteyttä tutkittiin Spearmanin korrelaatiotestillä. Regressioanalyysillä tutkittiin mitkä seuraavista muuttujista: fyysinen aktiivisuus, kehon rasvaprosentti ja bioimpedanssi korreloivilla taajuuksilla selittävät maksimaalista hapenottoa. Tulokset olivat tilastollisesti merkitseviä, jos $p < 0.05$.

7 TULOKSET

7.1 Antropometria ja demografia

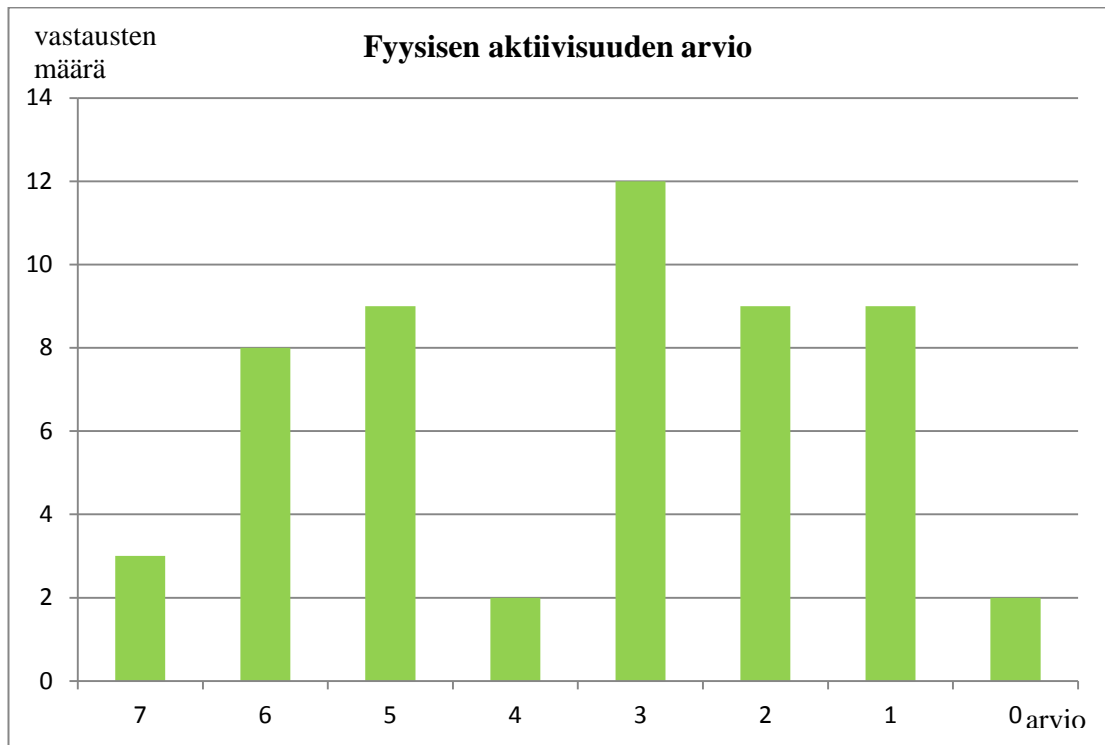
Taulukossa 3 on kuvattu tutkittavien demografiset ja antropometriset muuttujat sekä fyysisen aktiivisuuden arvio. Tutkittavien keskipituus oli 178.2 cm ja painon keskiarvo 79.4 kg. Painon keskiarvoa kasvatti muutama sairaalloisen ylipainoinen, painavin tutkittava oli 141.6 kg ja hänen painoindeksinsä (BMI) 41.4. Fyysisen aktiivisuuden arviointikyselyyn eivät vastanneet kaikki tutkittavat (n=55). Keskiarvo fyysiselle aktiivisuudelle oli 3.42, joka vastaa fyysistä aktiivisuutta, että tutkittava harrastaa kohtuullisesti rasittavaa liikuntaa tunnin viikossa tai rasittavaa liikuntaa puoli tuntia viikossa. Vyötärö-lantio –suhteen keskiarvo tutkittavilla oli 0.86.

TAULUKKO 3. Tutkittavien demografiset ja antropometriset muuttujat hajontoineen, fyysisen aktiivisuuden arvio mukaan lukien. Esitetty pituus on tutkittavien seisomapituus senttimetreinä. Paino on ilmoitettu kilogrammoina.

Tutkittavia kuvaavat antropometriset muuttujat

	N	Minimi	Maksimi	K-A	SD
Pituus (cm)	59	153.0	198.0	178.17	7.05
Paino (kg)	59	54.4	141.6	79.38	16.59
BMI (kg/m²)	59	17.3	41.4	24.92	4.53
Fyysisen aktiivisuuden arvio	55	0	7	3.42	1.98
Rasvaprocentti	58	5.1	46.6	19.57	8.28
Vyötärö-lantio -suhde	58	0.8	1.0	0.86	0.05

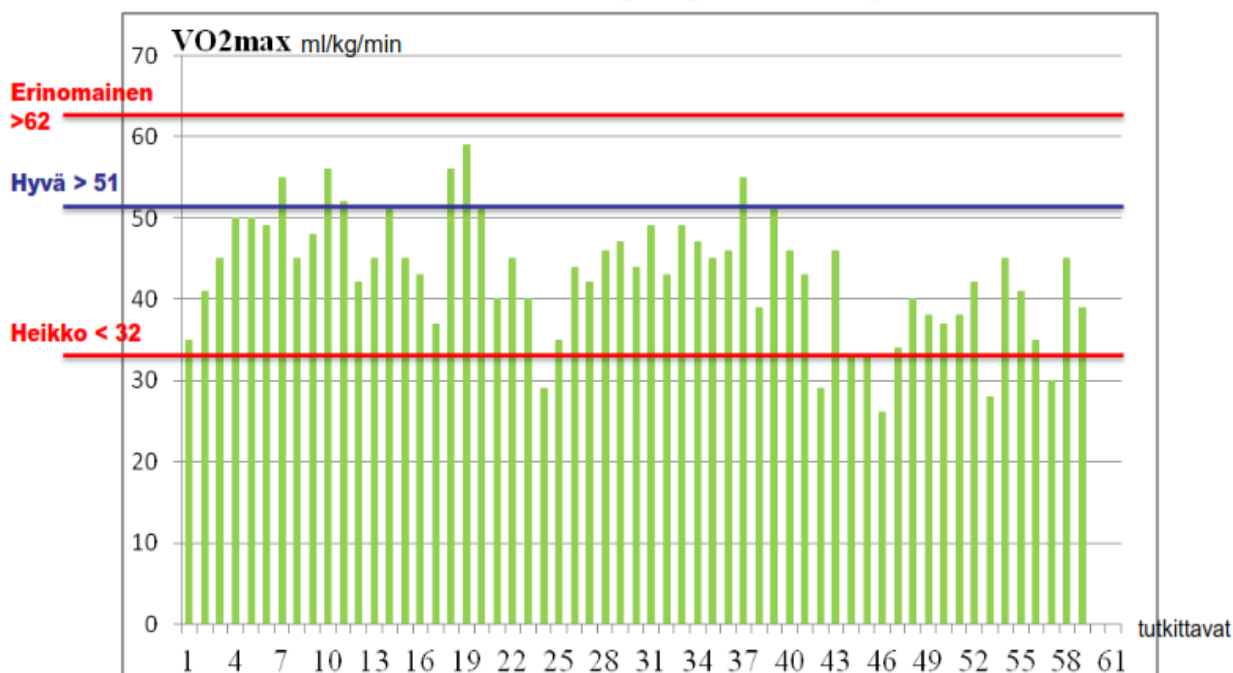
Fyysisen aktiivisuuden keskiarvo oli tutkittavilla 3.42, mutta aktiivisuuden taso vaihteli huomattavasti yksilöiden välillä (Kuva 13). Aktiivisuusluokkaa nolla ei tutkittavien joukossa tullut esiin. Diagrammista nähdään, että vastausten hajonta oli muuten normaalijakautunut, mutta aktiivisuusluokka 4 oli aliedustettu vastausten joukossa.



KUVA 13. Fyysisen aktiivisuuden arvion vastausten jakauma on esitetty pylväsdiagrammina.

7.2 Maksimaalinen hapenotto ja bioimpedanssianalyysi

Maksimaalinen hapenotto oli huonokuntoisimmalla tutkittavalla 26 ml/kg/min ja paras tulos oli 59 ml/kg/min (Kuva 14). Keskiarvotulokseksi saatiin 43 ± 7 ml/kg/min.



KUVA 14. Mitatut maksimaalisen hapenoton arvot ml/kg/min. Tulokset on esitetty tutkimusjärjestyksessä. Vaaka-akselilla on tutkittavat tutkimusjärjestyksessä, pystyakselilla mitattu VO₂max.

Bioimpedanssimittauksessa määritettiin impedanssit vartalon ja raajojen osalta erikseen. Tutkimuksessa ennustemallin hapenoton arviointiin vaikutti vain vartalon impedanssi. Taulukossa 4 on esitetty saadut mittaustulokset vartalon bioimpedanssista eri taajuuksilla. Bioimpedanssit mitattiin kolmella eri taajuudella kehosta (keskivartalo). Kaikkia saatuja tuloksia käytettiin korrelaatioanalyysissä. Paras korrelaatio oli maksimaalisen hapenoton ja 1000 kHz:n bioimpedanssimittauksen välillä ($p < 0.05$).

TAULUKKO 4. Impedanssimittauksen ja maksimaalisen hapenoton testin tulokset. Maksimaalinen hapenotto VO₂max on ilmoitettu ml/kg/min. Impedanssilla ei ole yksikköä.

	N	Minimi	Maksimi	K-A	SD
VO₂max (ml/kg/min)	59	26	59	43	7.44
Impedanssi250kHz	58	13.7	23.3	18.13	2.12
Impedanssi500 kHz	58	12.6	21.7	16.74	2.00
Impedanssi1000 kHz	58	10.9	19.8	14.83	1.83

7.3 Korrelaatioanalyysi

Korrelaatioanalyysissä tarkasteltiin vain niitä muuttujia, jotka eivät ole toisistaan riippuvaisia. Toisistaan riippuvaiset muuttujat suljettiin pois korrelaatiomatriisin avulla. Maksimaalisen hapenoton kanssa korreloivat vartalon bioimpedanssi, fyysisen aktiivisuuden arvio ja rasvaprosentti (Taulukko 5).

TAULUKKO 5. Maksimaalisen hapenoton ja bioimpedanssianalyysin välinen korrelaatio. Bioimpedansseista mukana ovat taajuuksilla 500 ja 1000 kHz mitatut vartalon bioimpedanssit.

		VO2max (l/min)	VO2max (ml/kg/min)	Fyysisen aktiivisuuden arvio
BMI	Pearson C.	0.379**	-0.528**	-0.091
	Sig. (2-tailed)	0.004	0.000	0.522
	N	56	56	52
Rasvaprosentti	Pearson C.	-0.107	-0.741**	-0.291*
	Sig. (2-tailed)	0.431	0.000	0.036
	N	56	56	52
Impedanssi 500kHz	Pearson C.	-0.630**	-0.345**	-0.267
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.009	0.055
	N	56	56	52
Impedanssi 1MHz	Pearson C.	-0.587**	-0.393**	-0.310*
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.003	0.025
	N	56	56	52
Impedanssi- Indeksi 500kHz	Pearson C.	0.490**	-0.161	-0.120
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.240	0.398
	N	56	55	52
Impedanssi Indeksi 1MHz	Pearson C.	0.496**	-0.154	-0.112
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.262	0.431
	N	56	55	52

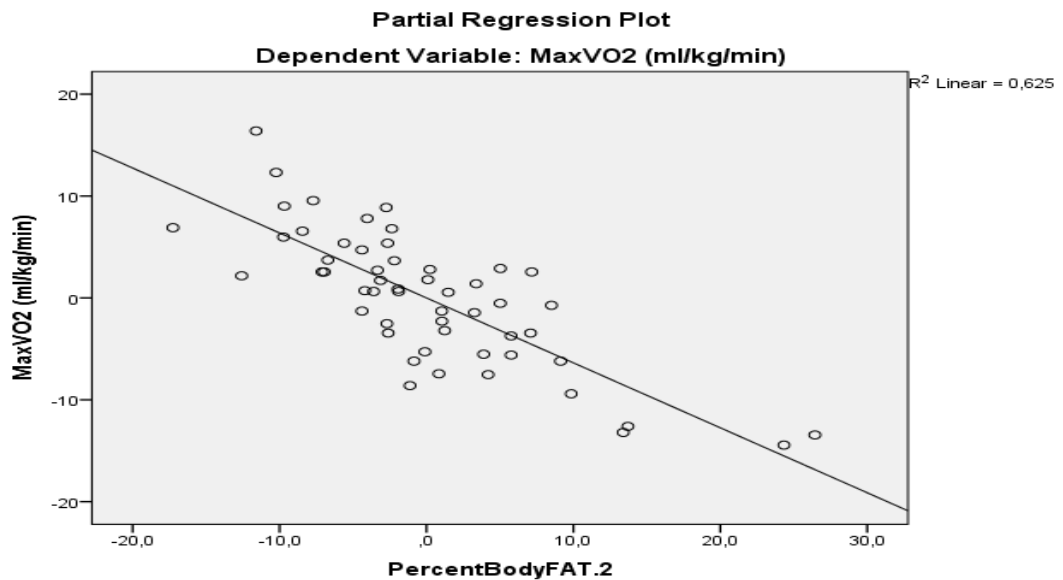
* p<0.05

** p<0.01

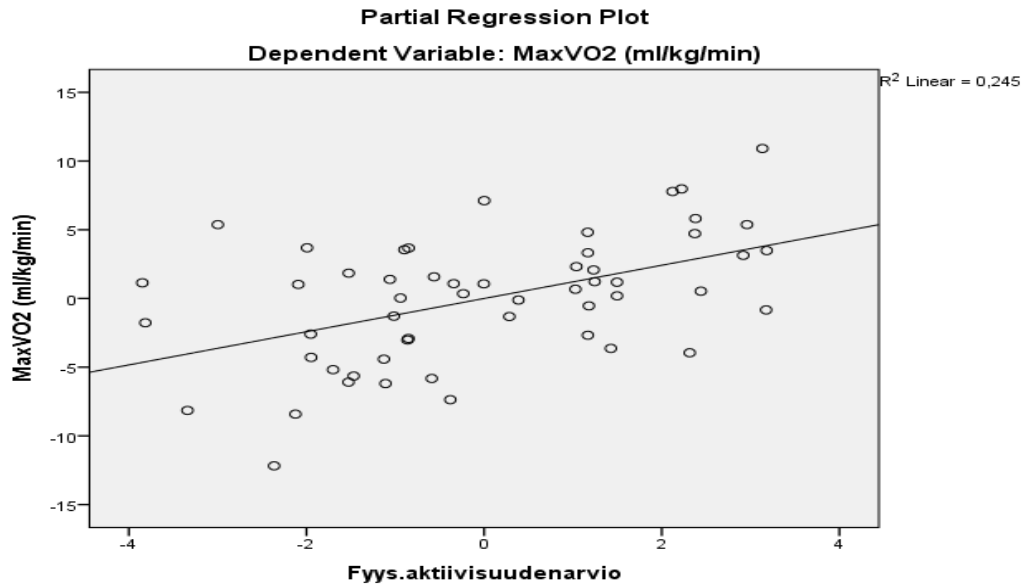
Impedanssi-indeksi määritettiin laskemalla ensin kehon kokonaisimpedanssi käytetyllä taajuudella kaavalla: vartalon impedanssi + 2 x yläraajan impedanssi + 2 x alaraajan impedanssi. Sen jälkeen tutkittavan pituuden neliö jaettiin kokonaisimpedanssilla (H²/kokonaisimpedanssi) impedanssi-indeksin saamiseksi.

Rasvaprocentti korreloi parhaiten kehon mitatuista suureista maksimaalisen hapenoton $VO_2\text{max}$ kanssa. Rasvaprocentti ja kehon bioimpedanssi sulkevat toisensa pois, koska bioimpedanssi on rasvaprocentista riippuvainen.

Kuvissa 15 ja 16 on kuvaajana esitetty rasvaprocentin ja fyysisen aktiivisuuden korrelaatio mitattuun maksimaaliseen hapenottoon. Mitä lähempänä yksittäiset havainnot ovat lineaarista suoraa, sitä vahvempi korrelaatio. Mitä suurempi fyysinen aktiivisuus, sitä todennäköisemmin tutkittavalla on korkea maksimaalinen hapenotto. Toisaalta mitä suurempi rasvaprocentti, sitä todennäköisemmin tutkittavan maksimaalinen hapenotto on pieni.



KUVA 15. $VO_2\text{max}$ vs.rasvaprocentti. Korrelaation plot-analyysi rasvaprocentin korrelaatiosta maksimaalisen hapenoton kanssa.



KUVA 16. VO₂max vs. fyysinen aktiivisuus. Korrelaation plot-analyysi fyysisen aktiivisuuden korrelaatiosta maksimaalisen hapenoton kanssa.

Hapenoton ennustemallin selitysvoimaa kuvaavat tunnusluvut on esitetty taulukossa 6. Selitysaste kertoo, kuinka suuren osan ko. malli selittää maksimaalisen hapenoton kokonaisvaihtelusta. Taulukossa 7 on puolestaan esitetty regressiokerrointen avulla kirjoitettu regressioyhtälö. Kaavalla: $51.668 + (-0.637) \times \text{rasvaprosentti} + 1.209 \times \text{fyysisen aktiivisuuden arvio}$ lasketaan maksimaaliselle hapenotolle ennustettu arvo.

TAULUKKO 6. Mallinnuksen yhteenveto. Malli 1= rasvaprosentti, joka selittää yksinään 61.9 % hapenotosta. Malli 2= fyysisen aktiivisuuden arvion avulla tarkennettu hapenoton arvio, jolloin mallin mukaan selittyy 70.6 % .

Mallinnuksen yhteenveto^c

Malli	R	Adjusted			Statistiikka					
		R ²	R ²	SEE	R ²	F	df	df	Sig. F	Durbin-Watson
1	0.791 ^a	0.626	0.619	4.689	0.626	87.041	1	52	0.000	
2	0.847 ^b	0.718	0.706	4.115	0.092	16.532	1	51	0.000	1.591

a. Predictors: (Constant), Rasvaprosentti

b. Predictors: (Constant), Rasvaprosentti, Fyys.aktiivisuudenarvio

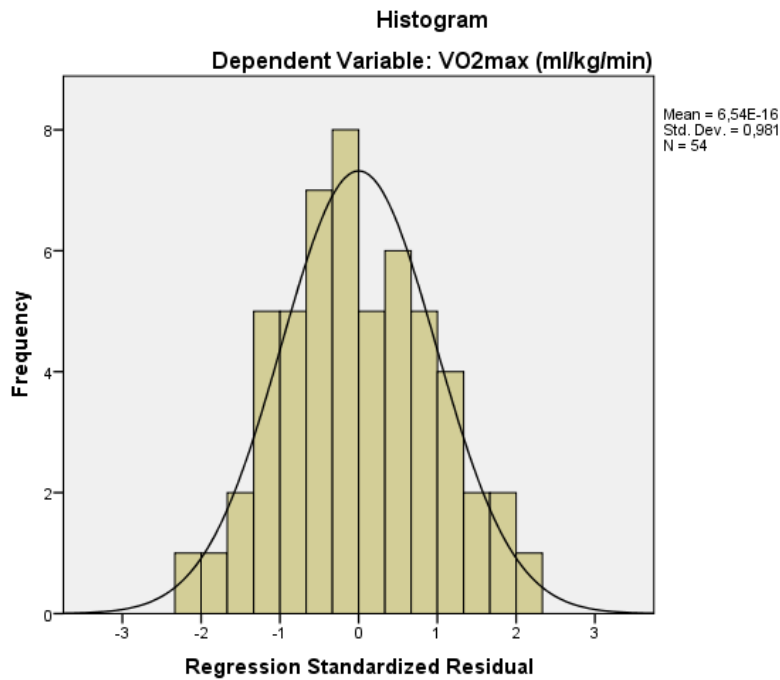
c. Dependent Variable: VO₂max (ml/kg/min)

TAULUKKO 7. Taulukossa on esitetty regressioanalyysin selityskertoimet. Arvioitu VO₂max = 51.668 + (-0.637) x rasvaprosentti + 1.209 x fyysisen aktiivisuuden arvio. Rasvaprosentti esitetään prosenttiyksiköissä yhden desimaalin tarkkuudella ja fyysisen aktiivisuuden arvio kokonaislukuna 0 – 7.

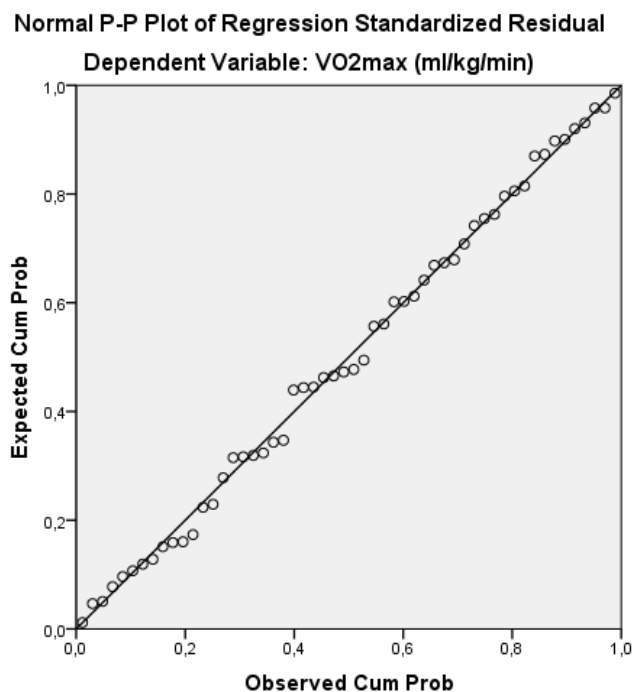
Regressioanalyysin kertoimet ^a							
Malli	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	SE	Beta			Tolerance	VIF
1	57.29	1.63		35.24	0.00		
Rasvaprosentti	-0.71	0.08	-0.79	-9.33	0.00	1.00	1.00
	51.67	1.99		26.01	0.00		
2 Rasvaprosentti	-0.64	0.07	-0.71	-9.21	0.00	0.93	1.07
Fyys.aktiivisuuden arvio	1.21	0.30	0.31	4.07	0.00	0.93	0.07

a. Dependent Variable: VO₂max (ml/kg/min)

Korreloivat muuttujat analysoitiin Kolmogorov-Smirnov-testillä. Muuttujat toteuttivat oletettaman normaalijakaumasta. Maksimaalinen hapenoton normaalijakautuneisuuden testaus on esitetty kuvassa 17. Lisäksi tarkasteltiin jäännöksiä, joista pystyttiin osoittamaan niiden olevan lähellä normaalijakaumaa (Kuva 18).



KUVA 17. Maksimaalisen hapenoton arvojen normaalijakauman testaus. Standardoitujen jäännösten jakauma suhteessa normaalijakaumaan toteutuu, eli regressioanalyysin perusoletus täyttyy.



KUVA 18. Jäännösten kumulatiivinen prosenttijakauma (P-P Plot), jossa osoitetaan, että jäännökset ovat lähellä normaalijakaumaa.

8 POHDINTA

Tässä pro gradu –tutkielmassa pyrittiin selvittämään voidaanko bioimpedanssianalyysin avulla arvioida maksimaalista hapenottoa nuorilla vaihtelevan kuntotaustan omaavilla varusmiehillä. Haluttiin myös selvittää voidaanko non-exercise-menetelmissä käytettyjen muuttujien kuten fyysisen aktiivisuuden, BMI:n, kehon rasvaprosentin ja painon avulla parantaa maksimaalisen hapenoton arvion tarkkuutta yhdistettynä bioimpedanssianalyysin tuloksiin.

Vuonna 2007 suomalaisten miesten keskipituus oli 177 cm (Kansanterveyslaitos 2007). Tutkittavilla keskipituus oli 178.2 cm. Painoindeksi eli BMI määritettiin tutkittavan pituuden ja painon avulla (paino/pituus metreinä²). Normaali BMI on 18.5 – 24.99 WHO:n kriteereiden mukaan (WHO). Tutkittavien BMI (24.92) keskiarvo on normaalin ylärajalla. Rasvaprosentti ilmoittaa rasvan määrän koko kehon painosta prosenttilukuna. Rasvaprosentti on jonkin verran parempi mittari ylipainon arviointiin, koska painoindeksissä oletetaan lihasten olevan keskimääräisessä kunnossa. Normaali rasvaprosentti on miehille 15.0. (Liikuntalääketiede 2005). Tutkittavilla rasvaprosentti oli keskimäärin 19.6, joka on normaalia korkeampi. Vyötärö-lantio-suhde on mitattu senttimetreinä määritetyistä ympärysmitoista. Vyötärömitta mitattiin tuuma navan yläpuolelta ja lantiomitta suuren lantiokyhmyksen kohdalta. WHO:n määrittelemä terveyden kannalta optimaalinen vyötärö-lantio-suhde on 0.9 miehillä. (WHO). Tutkittavilla mitatun vyötärö-lantio-suhteen keskiarvo oli 0.86.

Maksimaalinen hapenotto VO₂max kasvaa kestävyysharjoittelun myötä. Kestävyyskunnan luokittelussa miehillä n. 20-vuotiaana VO₂max alle 32 ml/kg/min tarkoittaa heikkoa ja keskimääräinen on 44 – 50 ml/kg/min (Taulukko 8). Erinomainen kestävyyskunto katsotaan olevan tässä ikäryhmässä silloin, kun VO₂max on yli 62 ml/kg/min. (Urheiluvalmennus 2004). Erinomaiseen kuntoluokkaan ei yltänyt kukaan tutkittavista.

Kestävyyuskunnan luokittelu maksimaalisen hapenottokyvyn avulla miehillä (VO_{2max} ml/kg/min).

	1	2	3	4	5	6	7
ikä / kuntotaso	Heikko	Huono	Välttävä	Keskimäär.	Hyvä	Erittäin hyvä	Erinomainen
20-24 vuotta	alle 32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	yli 62

TAULUKKO 8. 20-vuotiaiden kestävyyskunnan luokittelu (Urheiluvalmennus 2004).

Tutkittavien maksimaalisen hapenoton VO_{2max} keskiarvo määrittyi välttävään kuntoluokkaan. Tutkittavista viidellä kunto oli luokituksen mukaan heikko. Maksimaalisen hapenoton tulokset olivat normaalijakautuneita, mutta jakaumassa oli siirtymä heikompaan kuntoluokitussuuntaan.

Tutkimustuloksissa bioimpedanssi-indeksi 1000 kHz:lla mitattuna korreloi VO_{2max} :n kanssa ($p < 0.001$), mutta ei fyysisen aktiivisuuden arvion kanssa. Vartalon bioimpedanssi 1000 kHz korreloi VO_{2max} :n kanssa painoon suhteutettuna ($p < 0.003$) ja absoluuttisena ($p < 0.001$). Muilla taajuuksilla mitattu vartalon bioimpedanssi korreloi VO_{2max} :n kanssa ($p < 0.01$), mutta ei fyysisen aktiivisuuden arvion kanssa. Bioimpedanssianalyysin tulosten arvioinnissa korkeiden taajuuksien (>250 kHz) käytettävyys on parempi kuin matalien taajuuksien, johtuen taajuuksien erilaisesta solukalvojen läpäisevyyskyvystä. Matalat taajuudet läpäisevät huonommin solukalvoja, jolloin solun sisäisen ja ulkoisen nesteen resistanssin erottamiskyky heikkenee. (Kyle ym. 2004). Tästä syystä tutkimuksessa keskityttiin suurilla taajuuksilla saatuihin tuloksiin. Selitysmallissa bioimpedanssimittauksella 1000 kHz ja fyysisen aktiivisuuden arviolla saatu selitysaste absoluuttiselle maksimaaliselle hapenotolle (l/min) oli 31.4%, joka jäi vaatimattomaksi. Kuitenkin pakotettuna selitysmalliin bioimpedanssi-indeksi yhdessä lisättynä rasvaprosentilla ja fyysisen aktiivisuuden arviolla selitystekijöinä saatiin maksimaaliselle hapenotolle (ml/kg/min) kohtalainen selitysaste 63.4%.

Bioimpedanssilla mitataan kehon sähkön johtavuutta, mikä on suoraan verrannollinen kehon nestemäärään. Lihakset sisältävät kudoksista eniten nestettä, kun taas rasvakudos vain vähän. Tästä johtuen rasvakudos toimii bioimpedanssianalyysissä eristeen tavoin. Koska rasvaprosentti korreloi myös voimakkaasti ($p < 0.05$) maksimaalisen hapenoton

kanssa, se samalla poissulkee bioimpedanssimittaukset tästä non-exercise-menetelmän matemaattisesta mallista maksimaalisen hapenoton arvioinnissa.

Tutkimustulosten perusteella bioimpedanssimittauksella mitattu rasvaprosentti ennusti yksinään kohtalaisen luotettavasti maksimaalista hapenottokykyä. Rasvaprosentti selitti 61.9% hapenotosta. Rasvaprosentin korrelaatio maksimaaliseen hapenottoon oli negatiivinen, eli mitä suurempi rasvaprosentti, sitä huonompi maksimaalinen hapenotto. Tämä selittyy luonnollisesti sillä, että maksimaalisen hapenoton parantamiseksi vaaditaan kestävyystyypistä harjoittelua sitä enemmän, mitä parempaa tulosta halutaan (Urheiluvallmennus 2004, [333-363]). Kestävyystyypinen kuormitus ja harjoittelu säännöllisesti tehtynä kuluttaa runsaasti energiaa, mikä edesauttaa painon ja rasvaprosentin pysymistä matalampana (Fogelholm 2010).

Hapenottokyky voidaan ilmoittaa sekä absoluuttisena arvona (l/min), että painoon suhteutettuna (ml/kg/min). Painoon suhteutettu hapenottokyky on oleellinen esimerkiksi kestävyysjuoksussa tai hiihdossa, tai arjen toiminnoissa, joissa ihminen liikuttaa omaa painoaan tai kannattelee sitä. Tutkimuksessa käytettiin painoon suhteutettua (ml/kg/min) arvoa, sillä se on varusmiespalvelukseen osallistuvilla olennaisempi suorituskyvyn mittari. Monessa muussa peruskuntoiluun liittyvässä arkiliikunnassa, esimerkiksi pyöräilyssä absoluuttisella arvolla (l/min) on suurempi merkitys. Molemmat suuret korreloivat tutkimuksessa bioimpedanssimuuttujien kanssa. Merkitsevä korrelaatio saatiin kehon bioimpedanssilla kaikilla mitatuilla taajuuksilla ($p < 0.001$), sekä impedanssi-indeksillä 500 kHz ja 1000 kHz ($p < 0.001$) VO_2max :n absoluuttisen arvon kanssa. Absoluuttinen arvo korreloi myös kehon koostumusta ilmaisevien muuttujien kuten BMI:n kanssa, mutta korrelaatiota ei syntynyt rasvaprosentin kanssa.

Tutkittavien joukko oli kooltaan niin pieni ($n=59$), sekä tutkittavat olivat pituuden ja painon suhteen niin vaihtelevan kokoisia, ettei korrelaatiota painoon suhteutettuun VO_2max :iin (ml/kg/min) löytynyt kehon bioimpedanssin kanssa kuin taajuuksilla 500 kHz ja 1000 kHz ($p < 0.01$). Kehon painoon suhteutettu VO_2max ei yleensäkään anna vertailukelpoisia arvoja erityisesti kaikkein keveimpien ja painavimpien ihmisten vertailussa.

Paino sinänsä, pituus tai BMI ei merkittävästi lisännyt ennustetarkkuutta. Maksimaalinen hapenotto on ihmisen pituudesta riippumaton suure. Painossa taas huomioidaan sekä lihasmassa että rasvamassa, ja varsinkin heikkokuntoisilla painon lisäys todennäköisesti on enemmän rasvamassan lisääntymisestä johtuvaa, mutta urheilua harrastavilla osa painon lisäyksestä voi johtua kasvaneesta lihasmassan määrästä. Niinpä absoluuttinen paino ei anna tietoa siitä, onko saatu mittaustulos ylimääräisestä rasvakudoksesta johtuen korkea, vai hyvin kehittyneistä lihaksista johtuvaa. Lisääntynyt lihasmassa on tutkimuksissa vaikuttanut positiivisesti hapenottokykyyn (Sanada ym. 2005). Lisäksi paino korreloi voimakkaasti pituuteen, joten yksittäisenä suureena se ei kerro henkilön sopusuhtaisuudesta tai kehon koostumuksesta irroitettuna pituudesta. BMI on sekä painon että pituuden avulla laskettu suure, joka kuvaa laskennallisesti painon suhdetta tutkittavan pituuteen. Kuitenkin BMI jättää huomiotta lihasmassan osuuden painosta, ja erittäin lihaksikkaat urheilijat voivat saada korkeampia BMI-lukemia, kuin normaalipainoiset lihasmassaltaan normaalit tai vähän lihasmassaa omaavat tutkittavat, mikä sekoittaa osaltaan BMI:n korrelaatiota hapenoton kanssa. BMI:n ja hapenoton on raportoitu korreloivan negatiivisesti (Laxmi ym. 2014). Lisäksi BMI ja rasvaprosentti ovat toisistaan suoraan riippuvaisia, mitä korkeampi rasvaprosentti, sitä korkeampi BMI, mikä sulkee BMI:n pois suureista keskinäisen riippuvuussuhteen vuoksi. Malliin pakotettunakaan (ENTER) se ei kuitenkaan parantanut arvioidun hapenoton tarkkuutta.

Tutkittavien keskiarvoinen BMI 24.9 on normaalin ylärajalla, mutta rasvaprosentin keskiarvo oli tutkittavilla 19.6%, joka on normaalia selvästi korkeampi, tästä voisi päätellä rasvamassan määrän olevan suurempi kuin tällä BMI:llä pitäisi normaaliväestössä olla. Ylipainoisilla on tutkitusti huonompi selitysaste bioimpedanssilla arvioidun $VO_2\text{max}$:n osalta, kuin normaalipainoilla (Roberts ym. 2009). Roberts ym sai tutkimuksessaan ylipainoisilla 12-17 vuotiailla nuorilla bioimpedanssin avulla arvioidun $VO_2\text{max}$:n selitysasteeksi 0.48. Tutkimus tehtiin pyöreäergometriä ja bioimpedanssi-indeksiä ($\text{pituus}^2 / \text{kokonaisimpedanssi}$) hyväksikäyttäen. Tässä tutkimuksessa vastaavalla bioimpedanssi-indeksin kaavalla, jossa kokonaisimpedanssi on vartalon impedanssi + 2 x yläraajan impedanssi + 2 x alaraajan impedanssi, saatiin $VO_2\text{max}$:n selitysasteeksi 0.47, ($p < 0.001$). On huomattava, että tässä tutkimuksessa $VO_2\text{max}$:n suora testi tehtiin juoksumatolla, joka ei välttämättä anna lihavilla ja erittäin lihavilla täysin luotettavia arvoja, koska

ylipainoisilla on todettu, että he pääsevät paremmin lähelle maksimisuorituskykyään lajeissa, joissa heidän ei tarvitse työskennellä oman kehon painoaan vastaan, vaan painoa kannatellaan, esimerkkeinä pyöräily tai polkupyöräergometria. (Robers ym. 2009).

Fyysisen aktiivisuuden arvion avulla maksimaalisen hapenoton selityksasteen tarkkuutta pystyttiin hieman parantamaan. Tällä tavoin arvioitu maksimaalinen hapenotto kyettiin selittämään 70.6 %:sti. Fyysinen aktiivisuus kuvaa henkilön liikunnallisuutta ja hänen harrastamansa liikunnan määrää. Mitä enemmän kestävyystyypistä harjoittelua ihminen tekee, sitä varmemmin harjoitusvaikutuksena maksimaalinen hapenotto paranee. Tästä syystä ei olekaan ihme, että tutkittavien joukosta, joka ei koostunut aktiiviurheilijoista, harjoittelumäärää kuvaava tekijä eli fyysinen aktiivisuus korreloi positiivisesti maksimaalisen hapenoton kanssa. Mitä suurempi fyysinen aktiivisuus oli, sitä parempi oli mitattu maksimaalinen hapenotto VO_2max . Fyysisen aktiivisuuden kyselyn osalta voidaan kuitenkin sanoa, että kysely sinällään ei pitänyt sisällään kattavaa määrää liikuntalajeja. Kyselyn vastauksista ei voi vetää johtopäätöksiä siitä, miten hyvin annetut vastausvaihtoehdot sopivat kyselyyn vastanneiden harrastamaan lajiin tai ylipäätään liikunta-aktiivisuuteen. Kyselyn heikkous on se, että vastaaja joutuu valitsemaan vain annetuista vaihtoehdoista yhden, vaikka kokisi oman liikunta-aktiivisuutensa olevan kahden vastausvaihtoehdon väliltä. Voidaan kuitenkin olettaa vastausten arvioivan todellista liikunta-aktiivisuutta varusmiehillä tutkimukseen riittävällä tarkkuudella, koska kyse on NASA:n käyttämästä fyysisen aktiivisuuden arviointimenetelmästä (Jackson 1990).

Bioimpedanssianalyyseissä pyritään käyttämään hyödyksi tutkittavien aikaisemmin hankittuja tietoja, kuten ikä, sukupuoli ja pituus. Aiemmat tutkimukset BIA:sta ovat pyrkineet selvittämään helppoa, nopeaa ja luotettavaa non-exercise-menetelmää maksimaalisen hapenoton arviointiin. Analyyseissä voidaan käyttää eri taajuuksia, sekä voidaan muodostaa matemaattisesti impedanssi-indeksi, joka on korreloinut merkittävästi maksimaalisen hapenoton VO_2max kanssa. (Stahn ym. 2005). Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin bioimpedanssianalyysin antamista suureista suurin osa korreloi keskenään niin voimakkaasti ja on toisistaan riippuvaisia, että niiden käyttö ennustemalleissa ei ole matemaattisesti mahdollista. Segmentaalisesti mitatusta BIA:sta keskivartalon impedanssi korreloi maksimaalisen hapenoton kanssa. Hapenoton

absoluuttisen arvon kanssa korreloi vartalon impedanssi kaikilla mitatuilla taajuuksilla, mutta painoon suhteutetun hapenoton kanssa korreloi vain korkeat taajuudet ja eri taajuuksista paras korrelaatio saatiin 1000 kHz taajuudella, jolla Pearsonin korrelaatiokerroin oli -0.393 ja merkitsevyys $p < 0.003$.

Mikään non-exercise-menetelmä ei kuitenkaan tarkkuudessa vedä vertoja suoralle hapenoton testille. Etenkin urheilijoilla, joilla on jo valmiiksi hyvä hapenottokyky, pienetkin muutokset ja harjoitusvasteet ovat olennaisia ja testin luotettavuus ja tarkkuus tulee olla eri tasoa, kuin harrastajan tai yleisen väestötason mittauksissa. Niinpä mikään epäsuora menetelmä ei edelleenkään tule korvaamaan suoran hapenoton testejä hyvin harjoitelleiden urheilijoiden ryhmässä. Maksimaalisen hapenoton tiedetään olevan paras siinä urheilusuorituksessa tai lajissa, jota tutkittava harjoittelee säännöllisesti, ja siksi suora hapenoton testi tulisikin suorittaa tutkittavan omaa urheilulajia hyödyntäen. Tämä pätee niin kuntoilijoiden kuin huippu-urheilijoidenkin testaukseen.

Tässä tutkimuksessa otoskoko oli liian pieni suhteutettuna valikoimattomaan edes kansalliseen väestöön ja siten tulos on huonosti johdettavissa väestötason tutkimustulokseksi. Lisäksi tutkittavat edustivat valkoihoisia eurooppalaisia miehiä, eikä tutkimuksesta voi vetää johtopäätöksiä eri etnisten ryhmien osalta samojen menetelmien kykyyn ennustaa maksimaalista hapenottoa. Lisää tutkimuksia vaaditaan, jotta väestötasolla hyödynnettävä laskennallinen malli voidaan luoda.

Väestötason johtopäätöksiä varten tarvittaisiin lisätutkimuksia satunnaistetulla sokkoutetulla tutkimuksella, jossa tutkittavien joukko olisi kattavampi. Nyt tutkittavat olivat jo läpäisseet Puolustusvoimien palvelukseenastumistarkastuksen ja terveydellisesti todettu niin terveiksi, että kykenevät suorittamaan asevelvollisuuteen kuuluvan varusmiespalveluksen. Väestötasolla on huomioitava, että erilaiset sairaustilat ja sukupuoli vaikuttavat sekä rasvaprosenttiin, että kehon koostumukseen ja sen nestetiloihin. Kehon nestetilojen merkitys bioimpedanssimittauksessa ja sen tuloksissa on olennainen, ja joissain sairaustiloissa kehon nestetiloissa voi olla ylimääräistä nestettä huomattavia määriä. Toisaalta kuivuma (kehon nestetasapainon heilahtaminen negatiiviseksi) vaikuttaa myös olennaisesti bioimpedanssimittauksen tuloksiin. Tässä tutkimuksessa ei tutkittavien nestetasapainoa ollut standardoitu tai mitattu ennen

bioimpedanssimittauksista, vaan luotettiin yhtenäisen ohjeistuksen olevan riittävä keino tasoittaa nestetasapainon vaihtelua. Kuivumaa voivat aiheuttaa mm. saunominen, kuuma ilmasto, kuume, monet sairaustilat, ripuli ja oksentelu, fyysinen kuormitus ja hikoilu (Kyle ym. 2004). On olennaista painottaa, että etenkin niissä ryhmissä, joissa sairaustilan tai muun syyn takia suora hapenoton mittaaminen ei tule kysymykseen, olisi tärkeää löytää vaihtoehtoinen, luotettava arviointikeino hapenotolle non-exercise – menetelmiä hyödyntäen. Tätä menetelmää voisi käyttää sairaudesta tai vammasta kuntoutumisen etenemisen tai esimerkiksi vanhusten suorituskyvyn arviointityökaluna.

Bioimpedanssimittaus on edelleen hyvää mittaustarkkuutta vaadittaessa laboratorioolosuhteita edellyttävä tutkimustapa. Kotona on vain harvoin mahdollista käyttää bioimpedanssiin perustuvaa mittausta kehon rasvaprosentista tai ylipäätään kehon koostumuksesta, vaikkakin nykyään jo ominaisuuden sisältäviä henkilövaakoja on kuntosaleilla ja myös yksittäisten kuluttajien saatavilla kotikäyttöön. Kotimittauksissa virhelähteinä ovat mittaajan kokemattomuus ja ohjauksen puute, mittausolosuhteiden vaihtelu (kellonaika, ravitsemus- ja nestetasainotila, harjoittelun ajoitus mittaukseen nähden jne.) ja saatujen tulosten tulkinnan vaihtelu. Jo bioimpedanssin käytön uranuurtajat (esim. Stahn 2005) ovat joutuneet tutkimuksissaan pohtimaan bioimpedanssin soveltuvuutta menetelmän monimutkaisuuden ja toisaalta toistettavuuden heikkouden vuoksi. Esimerkiksi elimistön nestetasapainon tila mittaushetkellä on mittaustulokseen olennaisesti vaikuttava tekijä ja tämän vakiointi on käytännössä mahdotonta etenkin fyysisesti aktiivisilla henkilöillä. Lisäksi etenkin pitkäraajaisilla kestävyysurheilijoilla kehon lihasmassa on usein verrattain pieni, vaikkakin voimantuotto-ominaisuudet ja hapenottokyky ovat erittäin kehittyneitä, ja on tutkimuksissa huomattu, että tässä ryhmässä bioimpedanssin ennustearvo on keskimääräistä huonompi (Stahn 2005).

Nykyään sykemittareiden sykevälivaihteluun perustuvat kuntotestit ovat valloittaneet markkinoita kuntoilijoiden hapenottokyvyn helppona ja hinnaltaan saavutettavissa olevana vaihtoehtona, joka tarjoaa helpon tavan seurata hapenottokyvyn kehitystä osana päivittäisharjoittelun seurantaa. Vaikka arvioitu hapenottokyky ei olisi tarkkuudeltaan 100% luokkaa, sen paraneminen ja muutostrendi ovatkin kuntoilijoille tärkeämpiä harjoitusvasteen seurannassa, kuin absoluuttinen numeerinen tulos. Toki samalla tavalla

suoritettuna ja mahdollisimman pitkälle standardisoiduissa olosuhteissa toistetusti suoritettuna tarjoaa myös bioimpedanssia hyödyntävä kehonkoostumuksen analysointi jokseenkin epätarkan, mutta seurantavälineenä informatiivisen tavan kuvata harjoittelun vasteita trendinä, ei niinkään absoluuttisina mittaustuloksina. Samalla tavalla voisi rasvaprosentin ja fyysisen aktiivisuuden arvion avulla ennustaa yksilön harjoitusvasteena saavuttaman maksimaalisen hapenoton tasoa ja sen parantumista trendinä, jos vaatimus ennusteen tarkkuudelle ei ole suurempi, kuin näiden arvojen ennustetarkkuus eli 70.6%.

Yhteenvetona tutkimukselle voidaan todeta, ettei tutkimusten tulosten perusteella voida osoittaa bioimpedanssianalyysin tuovan apua maksimaalisen hapenoton VO_{2max} tarkkaan arviointiin ainakaan fyysiseltä aktiivisuudeltaan vaihtelevassa väestössä. Parhaiten tämän tutkimuksen perusteella maksimaalista hapenottoa voitiin ennustaa bioimpedanssimenetelmää hyödyntävän kehonkoostumusmittauksen antaman rasvaprosentin sekä fyysisen aktiivisuuden avulla. Tutkimuksessa tuli ilmi non-exercise-menetelmien heikkoudet. Maksimaaliseen hapenottoon vaikuttaa suuresti muun muassa perimä (Basset ym. 2000), jota on hankala arvioida kehon koostumukseen liittyvien muuttujien avulla. Lisäksi siihen vaikuttaa motivaatio (Bouchard ym. 1992) ja myös tutkittavan tottumus testavaan menetelmään, tässä testimenetelmänä käytettyyn juoksuun. Jos juoksutekniikka on harjaantumaton osalla testattavista, se vaikuttaa oletettavasti epätarkkuutta lisäävänä tekijänä maksimaalisen hapenoton tulokseen ja siten saattaa selittää tässä tutkimuksessa osan korrelaation epätarkkuuksista. Mikäli testiä ja siinä vaadittavaa juoksua taitona oltaisiin voitu harjoitella ennen varsinaista suoran hapenoton testiä, olisi tulosten käyttökelpoisuus oletettavasti ollut parempi.

9 LÄHTEET

ACSM – American College of Sports Medicine. (2000). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (6. painos) Les & Febiger., Philadelphia, PA, U.S.

Andersen, L.B. (1995). A maximal cycle exercise protocol to predict maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports*, 5, 143–146.

Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33 (12), 889–919.

Audran, M., Gareau R., Matecki S., Durand F., Chenard C. & Sicart MT. (1999). Effects of erythropoietin administration in training athletes and possible indirect detection in doping control. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 639–645.

Bassett, D.R. jr & Howley E. T. (1997). Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29 (5), 591-603.

Bassett, D.R. jr & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32 (1), 70–84.

Borodulin, K. (2006). Physical activity, fitness, abdominal obesity, and cardiovascular risk factors in Finnish men and women. The National FINRISK 2002 Study Publications of the National Public Health Institute, A1/2006, 1-156.

Bouchard, C., Dionne, F. T., Simoneau, J.-A. & Boily, M. R. (1992). Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 20, 27–58.

Brink-Elfegoun, T., Kaijser L., Gustafsson T. & Ekblom B. (2007). Maximal oxygen uptake is not limited by a central nervous system governor. *J Appl Physiol* 102, 781–786.

- Cink, R.E. & Thomas T.R. (1981). Validity of the Åstrand-Ryhming nomogram for predicting maximal oxygen intake. *Br J Sports Med.* 15, 182–185.
- Clausen, J.P. (1997). Circulatory adjustments to dynamic exercise and effect of physical training in normal subjects and in patients with coronary artery disease. *Prog Cardiovasc Dis*, 18, 459–495, 1976.
- Costill, D.L. (1970). Metabolic responses during distance running. *Journal of Applied Physiology*, 28, 251–255.
- Cumming, G. R. & Borosyk, L. M. (1972). Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 14, 18–22.
- Davies, C. T. M. (1968). Limitation to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *Journal of Applied Physiology*, 24, 700 – 706.
- De Wit, M. J. P., der Weduwe, C. J., Wolfhagen, P. J. J. M. & Hollander, A. P. 1997. Validity of peak oxygen uptake calculations from heart rate deflection points. *International Journal of Sports Medicine* 18 (3), 201–207.
- Duncan, G. E., Howley, E.T. & Johnson B.N. (1997). Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 273–278.
- Ekblom, B., Goldbarg A.N. & Gullbring B.J. (1972). Response to exercise after blood loss and reinfusion. *Appl Physiol*, 33 (2), 175–80.
- Ekblom, B., & Berglund B. (1991). Effect of erythropoietin administration on maximal aerobic power, *Scand J Med Sci Sports*, 1, 88–93.
- Elia, M., Fuller N.J., Hardingham C.R., Graves M. & Screatton N. (2000). Modeling leg sections by bioelectrical impedance analysis, dual-energy X-ray absorptiometry, and anthropometry: assessing segmental muscle volume using magnetic resonance imaging as a reference. *Ann NY Acad Sci* 904, 298–305.

Fogelholm, M. 2010. Liikunta ja terveyst. Teoksessa: Terveystliikunta 2010. Fogelholm, M., Vuori, I., Vasankari, T. (Toim.) 2010. Terveystliikunta. 2. Uudistettu painos. Duodecim, Helsinki.

Foster, V. L., Hume, G. J. E., Dickinson, A. L., Chatfield, S. J. & Byrnes. (1986). The reproducibility of VO_2 max, ventilatory, and lactate thresholds in elderly women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18 (4), 425–430.

Fox, K., Peters, D. & Bell, M. 2000. Assessment of abdominal fat development in young adolescents using magnetic resonance imaging. *International Journal of Obesity* 24, 1653-1659.

Fuller N.J., Hardingham C.R., Graves M., Screatton N., Dixon A.K., Ward L.C. & Elia M. (1999). Predicting composition of leg sections with anthropometry and bioelectrical impedance analysis, using magnetic resonance imaging as reference. *Clin Sci* 96, 647–657.

George, James D., Stone, William J., Burkett & Lee N. (1997). Non-exercise VO_2 max estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc*, 29 (3), 415-423.

Grant, John A., Joseph Amy N. & Campagna Philip D. (1999). The Prediction of VO_2 max: A Comparison of 7 indirect tests of aerobic power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13 (4), 346-352.

Greiwe, J. S., Kaminsky, L. A., Whaley, M. H. & Dwyer, G., B. (1995). Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating VO_2 max. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27 (9), 1315–1320.

Gudivaka, R., Schoeller, D. A., Kushner, R. F. & Bolt, M. J. (1999). Single –and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *J Appl Physiol*, 87, (3), 1087-1096.

Hawkins, S. A. & Wiswell, R. A. (2003). Rate and Mechanism on Maximal Oxygen Consumption Decline with Aging. *Sports Medicine* 33 (12), 877–888.

Hoffer, E. C, Meador, C. K. & Simpson, D. C. (1969). Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol*. 27 (4), 531-534.

Howley, E.T., Bassett, D.R. & Welch, H.G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*, 27 (9), 1292-1301.

Jackson, A.S., Blair, S.N., Mahar, M.T., Wier, L.T., Ross, R.M. (1990). Prediction of functional aerobic capacity without exercise testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22 (6), 863–870.

Jackson, A. S. 2007. Estimating maximum heart rate from age: is it a linear relationship? *Med Sci Sports Exerc* 39, 821.

Janssen, I., Heymsfield, S.B., Baumgartner, R.N. & Ross, R. (2000). Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol* 89, 465–471.

Jessup, G.T., Tolson, H. & Terry, J.W. (1977). Prediction of maximal oxygen intake from Åstrand-Ryhming test 12-minute run and anthropometric variables using stepwise multiple regression. *Am J Phys Med*, 53 (4), 200–207.

Johnson, P.J., Winter, E.M., Paterson, D.H., Koval, J.J., Nevill, A.M. & Cunnin, D.A. (2000). Modelling the influence of age, body size and sex on maximum oxygen uptake in older humans. *Exp Physiol*, 85, 219–25.

Kansanterveyslaitos (2007) FINRISKI-terveystutkimus. s. 659.

Kasch, F.W. (1984). The validity of the Åstrand and Sjöstrand submaximal tests. *The Physician and Sportsmedicine*, 54, 47–51.

Keskinen, K.L., Häkkinen, K., Kallinen M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. 1. painos. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 156. Tampere, Suomi.

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schonls, A. M. & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*, 23, (5), 1226-1243.

Laukkanen, R., Oja P., Pasanen, M. & Vuori, I. (1992). Validity of two kilometre walking test for estimating maximal aerobic power in overweight adults. *Int J Obes*, 16, 263 – 268.

Laukkanen, R.M.T., Oja, P., Pasanen, M. & Vuori, I. (1993). A two-kilometer walking test: effects of walking speed on the prediction of maximal oxygen uptake. *Scand J Med Sci Sports*, 3, 263 – 266.

Laxmi, C.C., Udaya, I. B. & Vinutha Shankar, S. (2014). Effect of body mass index on cardiorespiratory fitness in young healthy males. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 4, Issue 2, February 2014 1 ISSN 2250 – 3153.

Lindstedt, S.L., Wells, D.J., Jones, J.H., Hoppeler, H. & Thronson, H.A. Jr. (1988). Limitations to aerobic performance in mammals: interaction of structure and demand. *Int J Sports Med*, 9 (3), 210–217.

Malek, M.J., Housh, T.J., Berger, D.E., Coburn, J.W. & Beck, T.W. (2005). A New Non-Exercise-based Vo₂max Prediction Equation for Aerobically trained men. *Journal of Strenth and Conditioning Research*, 19 (3), 559-565.

Mathews, C.E., Heil, D.P., Freedson, P.S., Pastides & Harris. (1999). Classification of cardiorespiratory fitness without exercise testing. *Med Sci Sports Exerc* , 31, 486–493.

McArdle W.D. (1991). Exercise physiology: Nutrition, Energy and Human performance. (3. painos) Les & Febiger, Philadelphia, PA, U.S./London GBR.

McArdle W.D. (1996) Exercise physiology: Nutrition, Energy and Human performance. (4. painos) Williams & Wilkins, Baltimore, MD, U.S.

Mero A., Nummela A., Keskinen K. L., Häkkinen K. (2004) Urheiluvallmennus. 1. painos. VK-kustannus, Lahti, Suomi

Mikkola J. (2014) Suoran maksimaalisen hapenottotestin anatomia. *Liikunta & Tiede* 51 (2-3)

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 (18), 3225–3234.

Oja P., Laukkanen R., Pasanen M., Tyry T. & Vuori I. (1991). A 2-km walking test for assessing the cardiorespiratory fitness of healthy adults. *Int J Sports Med*, 12, 356 – 362.

Okura, T. & Tanaka, K. (2001). A unique method for predicting cardiorespiratory fitness using rating of perceived exertion. *J Physiol Antropol Appl Human Sci*, 20 (5), 255-261.

Olde Rikkert, M.G., Deurenberg, P., Jansen, R.W., van't Hof, M.A. & Hoefnages, W.H. (1997). Validation of multifrequency bioelectrical impedance analysis in monitoring fluid balance in healthy elderly subjects. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 52, (3), 137-141.

Åstrand, P.-O. & Ryhming, I. (1954). Anomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rates during submaximal work. *Journal of Applied Physiology* 7: 218-221.

Åstrand, P.-O. & Saltin, B. (1961). Maximal oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise. *Journal of Applied Physiology*, 16 (6), 971–976.

Åstrand, P.-O. & Rodahl, K. (1986). Textbook of Work Physiology. (3. painos). New York, NY, U.S. McGraw-Hill.

Piccoli, A., Brunani, A., Savia, G., Pillon, L., Favaro, E., Berselli, M.E. & Cavagnini, F. (1994). Discriminating between body fat and fluid changes in the obese adult using bioimpedance vector analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2, 97-104

Paterson, D.H., Cunningham, D.A., Koval, J.J. & St Croix, C.M. (1999). Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55-86 years. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 1813-20.

Pérusse, L. (1989). Genetic and environmental influences on level of habitual physical activity and exercise participation. *American Journal of Epidemiology* 129, 1023.

Ponikowski, P. & Anker D. (2007). Effect of Darboetin Alfa on exercise tolerance in anemic patients with symptomatic chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 49 (7), 763-4.

Robergs, R.A. & Roberts, S. (1997). Exercise Physiology: Exercise, performance, and clinical applications. (2. painos). St. Louis, MO, U.S. Mosby.

Robergs, R.A. & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the “HR max= 220-age” equation. *Journal of Applied Physiology*, 5 (2), 1-10.

Roberts, M., Drinkard, B., Razenhofer, L.M., Salaita, C.G. & Sebring, N.G. (2009). Prediction of Maximal Oxygen Uptake by Bioelectrical Impedance Analysis in Overweight Adolescents. *J Sports Med Phys Fitness*, 49 (3), 240- 245.

Rowland, T. W. (1993). Does peak VO₂ reflect VO₂max in children? Evidence from supramaximal testing. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 25 (6), 689-693.

Sanada, K., Kearns, C.F., Kijima, K. & Abe, T. (2005). Peak oxygen uptake during running and arm cranking normalized to total and regional skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol* 93 (5-6), 687-693.

Schiller, B., Casas, Y., Desouza, C. & Seals, D. (2001). Maximal aerobic capacity across age in healthy hispanic and caucasian women. *Journal of Applied Physiology*, 91, 1048-1054.

Sidney, K.H. & Shephard, R.J. (1977). Maximum and submaximum exercise tests in men and women in the seventh, eighth, and ninth decades of life. *Journal of Applied Physiology*, 43, 280–287.

Stahn, A., Terblanche, E. & Strobel, G. (2004). Relationships between bioelectrical impedance and blood volume. *Proceedings of the 11th Pre-Olympic Congress, Thessaloniki, Greece*, 219-220.

Stahn, A., Terblanche, E., Grunert, S. & Strobel, G. (2005). Estimation of maximal oxygen uptake by bioelectrical impedance analysis. *Eur J Appl Physiol*, 10, 1007.

Stahn, A., Terblanche, E. & Strobel, G. (2008). VO₂max prediction from multi-frequency bioelectrical impedance analysis. Institute of Sports Medicine, Free University of Berlin, Germany.

Suni, J., Oja, P., Miilunpalo, S., Pasanen, M., Vuori, I. & Böös, K. (1998). Health-related fitness test battery for adults: associations with perceived health, mobility, and back function and symptoms. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 559 – 563.

Taylor, C.R. & Weibel, E.R. (1981). Design of the mammalian respiratory system. I. Problem and strategy. *Respir Physiol* 44, 1–10.

Taylor, C.R., Karas, R.H., Weibel, E.R. & Hoppeler, H. (1987). Adaptive variation in the mammalian respiratory system in relation to energetic demand. *Respir Physiol* 69, 1–127.

Teräslinna, P., Ismail, A.H. & MacLeod, D.F. (1966). Nomogram by Åstrand and Ryhming as a predictor of maximum oxygen intake. *J Appl Physiol*, 21, (2), 513-515.

Thomasset, A. (1963). Bio-electric properties of tissues, estimation by measurement of impedance of extracellular ionic strength and intracellular ionic strength in the clinic. *Lyon Med.* 209 (2), 1325-1350.

Toth, M.J., Goran, M.I., Ades, P.A., Howard, D.B. & Poehlman, E.T. (1993). Examination of data normalization procedures for expressing peak VO₂ data. *J Appl Physiol* 75, 2288–2292.

Uth, N., Sørensen, H., Övergaard, K. & Pedersen, P.K. (2003). Estimation of VO₂max from the ratio between HRmax and HRrest –the Heart Rate Ratio Method. *European Journal of Applied Physiology*, 10, 1007.

Vuori, I., Taimela, S. & Kujala, U. (2005). Liikuntalääketiede. 3. painos. Kustannus Oy Duodecim. Hämeenlinna, Suomi.

Väinämö, K., Mäkilallio T., Tulppo, M. & Röning, J. (1998). A neuro-fuzzy approach to aerobic fitness classification: a multistructure solution to the context-sensitive feature selection problem. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Anchorage, Alaska, USA.

Wagner, P.D. (1996). Determinants of maximal oxygen transport and utilization. *Annu Rev Physiol* 58, 21–50.

Warburton, D.E., Gledhill, N. & Quinney, H.A. (2000). Blood volume, aerobic power, and endurance performance: potential ergogenic effect of volume loading. *Clin J Sport Med* 10, 59–66.

Washburn, R.A. & Seals, D.R. (1984). Peak oxygen uptake during arm cranking in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 56, 954.

WHO, World Health Organisation www.who.int/bmi/index.jsp - 1k 1.2.2015.

Åstrand, P.-O. & Ryhming, I. (1954). Anomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rates during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, 7, 218-221.