

**MAKSIMAALISEN RASVAN HAPETTUMISPISTEEN
(FATMAX-PISTEEN) PÄIVITTÄINEN VAIHTELU JA SEN
MÄÄRITTÄMINEN SYKEVÄLIVAIHTELUN AVULLA**

Ulla Salmi

Pro Gradu-tutkielma
Biomekaniikka
Syksy 2007
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työn ohjaaja: Teemu Pullinen

TIIVISTELMÄ

Salmi Ulla 2007. Maksimaalisen rasvan hapettumispisteen (Fatmax-pisteen) päivittäinen vaihtelu ja sen määrittäminen sykevälivaihtelun avulla. Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto, 58s.

Pistettä, jolloin rasvankäyttö energianlähteenä on maksimaalista (g/min), kutsutaan fatmax-pisteeksi. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää päivittäistä vaihtelua fatmax-pisteessä. Lisäksi tutkimuksessa haluttiin selvittää sykevälimuuttujien yhteyttä fatmax-pisteeseen. Tutkimukseen osallistui kaksitoista aktiivista naista (ikä $32,9 \pm 9,7$; BMI $22,3 \pm 1,7$). Jakson (tammikuu-huhtikuu) aikana suoritettiin kahdeksan mittausta fatmax-pisteen määrittämiseksi eri päivinä ja nauhoitettiin henkilöiden liikunta-aktiivisuutta sykemittarien avulla. Henkilöiden liikunta-aktiivisuudesta kirjattiin muistiin yhteenlaskettu viikoittainen aika, jonka henkilö oli liikkunut intensiteetin ollessa 80-100% henkilön maksimaalisesta sydämen sykintäaajuudesta. Mittausjakson alussa henkilöille tehtiin maksimaalista hapenottokykyä mittaava juoksutesti. Tämän jälkeen suoritettiin viisi sykeohjattua nousevan kuormituksen testiä spinning-pyörällä päivittäisen vaihtelun selvittämiseksi. Testijakson lopussa suoritettiin kova harjoitusviikko, jolloin harjoiteltiin kovalla intensiteetillä (80-100% HR_{max}) kaksi kertaa normaalia harjoittelua vastaava määrä. Kovan harjoitusviikon molemmin puolin suoritettiin maksimaalista hapenottokykyä mittaava testi spinning-pyörällä. Fatmax-piste määritettiin jokaiselle henkilölle seitsemästä spinning-pyörällä suoritetusta testistä sekä mitatuista arvoista että approksimoimalla paraabelisovitteen avulla. Analysoitavia muuttujia olivat fatmax-pisteen absoluuttinen rasvankäyttö, syke, syke % maksimisykkeestä, energiankulutus ja sykevälivaihtelumuuttujat. Tulosten perusteella ei saatu tukea väittämään: fatmax-piste vaihtelee päivittäin. Muuttujien välillä oli kuitenkin vaihtelua. Tämän johdosta pääteltiin, että fatmax-pisteellä voi hyvinkin olla päivittäistä vaihtelua, vaikkakaan tässä työssä ei löytynyt väitteelle tilastollisesti merkittävää tukea. Otannan ollessa suurempi tilanne voisi olla toinen. Mitattujen arvojen perusteella määritetty syke fatmax-pisteessä oli kaikkien testien keskiarvon perusteella 130 ± 10 lyöntiä minuutissa, joka oli $70 \pm 3,4$ % maksimaalisesta sykkeestä. Paraabelisovitteen avulla approksimoitu fatmax-syke oli keskimäärin 127 ± 10 lyöntiä minuutissa joka oli 68 ± 3 % henkilöiden maksimaalisesta sykkeestä. Verrattaessa aikaisempaan tutkimustietoon tässä tutkimuksessa saatu syke fatmax-pisteessä oli korkeampi. Aikaisemmat tutkimukset ovat tehty molemmilla sukupuolilla. Tämän tutkimuksen tulos voi selittyä sillä, että naiset ovat keskimäärin tehokkaampia rasvankäyttäjiä kuin miehet. Lisäksi tässä tutkimuksessa koehenkilöillä oli vahva harjoittelusta, jonka tiedetään parantavan rasvankäyttöä energiaksi urheilun aikana. Tässä työssä selvitettiin myös sykevälivaihtelumuuttuja SD1 mahdollisuutta käyttää fatmax-pisteen määrittämiseen ilman hengityskaasuanalysaattoria. Rajana käytettiin kuormaa, jossa SD1 laskee pysyvästi alle 4 ms. Hengityskaasumuuttujien perusteella määritetty fatmax-piste saavutettiin keskimäärin sykkeellä 130 ± 10 lyöntiä minuutissa ja SD1 kriteerin perusteella 123 ± 6 lyöntiä minuutissa. Tilastollisten testien perusteella määritettiin Pearsonin korrelaatiokerroin $r = 0,26$ ja $p < 0,05$. Kriteeri ei näin ollen yksin riitä määrittämään fatmax-pistettä luotettavasti. Tulevaisuudessa tulisi keskittyä optimoimaan matemaattisesti sykkeestä ja sykevälimuuttujasta SD1 fatmax-pistettä esim. neuroverkkotekniikkaa hyväksikäyttäen.

Avainsanat: fatmax-piste, päivittäinen vaihtelu, sykevälivaihtelu

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	RASVA-AINEENVAIHDUNTA	7
2.1	Elimistön energianlähteet	7
2.2	Rasvan rakenne	8
2.2.1	Mikrorakenne	8
2.2.2	Makrorakenteet	9
2.3	Rasva ihmisessä	10
2.4	Rasva energianlähteenä	11
2.4.1	Lipolyysi rasvakudoksesta	11
2.4.2	β -oksidaatio	12
2.4.3	Sitruunahappokierto ja elektroninsiirtoketju	13
3	FATMAX-PISTE JA SEN MÄÄRITTÄMINEN	14
3.1	Fatmax-pisteen fysiologista taustaa	14
3.2	Fatmax-pisteen mittaaminen	16
3.2.1	Hengitysosamäärä	16
3.2.2	Sykevälivaihtelu	18
4	FATMAX-PISTEESEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	22
4.1	Edeltävä ravinto	22
4.2	Kestävyysharjoittelu	23
4.3	Lihassolujakauma	24
4.4	Suorituksen kesto	24
4.5	Rasitustapa	25
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	26
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	27
6.1	Koehenkilöt	27
6.2	Tutkimusprotokolla	28
6.2.1	Maksimaalinen hapenottookykytesti juosten	28
6.2.2	Päivittäistä vaihtelua mittaava spinning-testi	29
6.2.3	Maksimihapenottotesti spinning-pyörällä	31
6.2.4	Kova harjoitusviikko	31
6.3	Mittaustulosten käsittely	32
6.3.1	Juokсутестit	32
6.3.2	Spinningtestit	32
6.3.3	Fatmax-pisteen määrittäminen	33
6.3.4	Tilastolliset analyysit	34
7	TULOKSET	36
7.1	Päivittäinen vaihtelu fatmax-pisteen muuttujissa	36
7.2	Fatmax-pisteen ennustaminen sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla	41
8	POHDINTA	43
8.1	Päivittäinen vaihtelu fatmax-pisteen muuttujissa	43
8.2	Fatmax-pisteen ennustaminen sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla	44
8.3	Kovan harjoitusviikon vaikutus muuttujiin	45
8.4	Mitatut arvot vs. paraabelisovite	46
8.5	Koeasetelma ja mittausjärjestelyt	47
8.6	Yhteenveto	47

9	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	52

LYHENTEET

ATP	Adenosiinitrifosfaatti
B-La	Veren laktaattipitoisuus ($\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$)
CO ₂	Hiilidioksidi
EKG	Electrokardiografia, sydämen biosähköisten ilmiöiden mittaus
FAD	Flaviiniadeniinidinukleotidi
FADH ₂	Flaviiniadeniinidinukleotidi + liittynyt 2 vetyatomi
Fatmax	Maksimaalinen absoluuttinen rasvan hapettuminen (g/min)
FFA	Vapaa rasvahappo
HF	Taajuudella 0.15-0.4 Hz tapahtuvan sykevaihtelun teho (ms^2)
HDL	Korkeatiheyksinen lipoproteiini
HR	Sydämen sykintätaajuus ($\text{lyönti}\cdot\text{min}^{-1}$)
HR _{max}	Sydämen maksimaalinen sykintätaajuus ($\text{lyönti}\cdot\text{min}^{-1}$)
% HR _{max}	Intensiteettitaso, joka kuvataan suhteellisena osuutena HR _{max} - arvosta
LF	Taajuudella 0.04-0.15 Hz tapahtuvan sykevaihtelun teho (ms^2)
LF/HF	LF:n ja HF:n absoluuttisten arvojen suhde
LDL	Matalatiheyksinen lipoproteiini
NAD ⁺	Nicotinamide adenine dinucleotide
NADH ⁺	Nicotinamide adenine dinucleotide + liittynyt 1 vetyatomi
O ₂	Happi
SD1	Pointcaré plot-analysissä nopeaa sykevaihtelua kuvaava muuttuja (ms)
R-R- intervalli	EKG:ssä ilmenevien kahden peräkkäisen R-piikin välinen aika (ms)
RMSSD	Neliöjuuri peräkkäisten R-R- intervallien erotusten neliöiden keskiarvosta
RQ	Hengitysosamäärä
SDNN	R-R- intervallien keskihajonta (ms)
VLDL	Hyvin matalatiheyksinen lipoproteiini
VCO ₂	Hiilidioksidin tuotto ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ tai $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)
VO ₂	Hapenkulutus ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ tai $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenkulutus ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ tai $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$)

1 JOHDANTO

Christensen ja Hansen saivat jo vuonna 1939 todisteita siitä, että liikunnan intensiteetti vaikuttaa energiasubstraattien valintaan (Christensen & Hansen 1939). Hiilihydraattien käyttö energianlähteenä kasvaa liikunnan intensiteetin kasvaessa. Toisaalta rasvan käyttö energianlähteenä kasvaa liikuntaintensiteetin kasvaessa, mutta laskee tietyn intensiteetin jälkeen. Pistettä, jolloin rasvankäyttö energianlähteenä on maksimaalista (g/min), kutsutaan fatmax-pisteeksi. Maksimaalisesta rasvan hapettumispisteen määrittämisestä olisi hyötyä kestävyysurheilijoille. Lisäksi fatmax-pistettä voitaisiin soveltaa painonhallintaohjelmissa ja diabeteksen hoidossa. (Jeukendup & Achten 2001).

Rasvankäyttöä urheilun aikana on tutkittu suoralla ja epäsuoralla kalorimetrialla. Tutkittavalle henkilölle laitetaan kasvoille maski, joka kerää hengityskaasujen konsentraatio- ja tilavuuseroja. Lusk (1924) kehitti nk. non-protein taulukon energiasubstraattien käytön määrittämiseksi. Taulukko perustuu siihen, että hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit käyttävät eri määrän happea ja tuottavat eri määrän hiilidioksidia tuottaessaan energiaa. Taulukossa proteiinista saatava energia on jätetty huomioimatta, koska sen rooli energianlähteenä urheilun aikana on pieni. Taulukon käyttäminen vaatii steady-state tilaa (fysiologisesti vakiintunut tila). Tällöin voidaan olettaa hengityskaasujen arvojen edustavan arvoja myös solutasolla.

Fatmax-pisteeseen liittyen on tehty useita tutkimuksia. Esimerkiksi Achten ym. (2002) tutkimuksen perusteella 3 minuutin kuormitusporras on riittävän pitkä fatmax-pisteen määrittämisessä. Venables ym. (2005) tutkimuksen (N=300) perusteella fatmax-piste löytyy $48.3 \pm 0.9\%$ $VO_{2\max}$ -arvosta ja $61.5 \pm 0.6\%$ HR_{\max} -arvosta. Tutkimuksia ei ole kuitenkaan tehty fatmax-pisteen päivittäisestä vaihtelusta samalla henkilöllä. Tämä tieto olisi tärkeä kehiteltäessä menetelmää fatmax-pisteen määrittämiseksi. Lisäksi tässä työssä halutaan selvittää sykkeen ja sykevälivaihtelumuuttujien käyttämisessä fatmax-pisteen määrittämisessä. Tällöin harjoittelu fatmax-pisteen intensiteetillä olisi mahdollista jokapäiväisen liikunnan tukena ilman hengityskaasuanalysaattoria.

2 RASVA-AINEENVAIHDUNTA

2.1 Elimistön energianlähteet

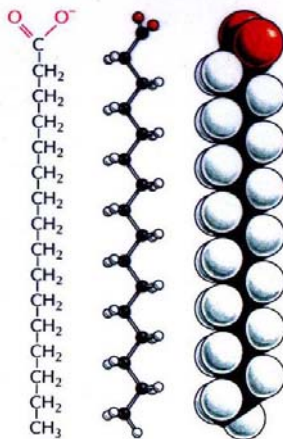
Ihminen tarvitsee energiaa tehdä työtä tai tuottaa voimaa. Energiaa työhön saadaan adenosinitrifosfaatista (ATP:stä), jota on varastoitunut lihaksiin. ATP on nopeasti ehtyvä energianlähde. Siitä saadaan energiaa vain muutaman sekunnin työhön. ATP:tä tuotetaan lisää kolmella eri tavalla: kreatiinifosfaattia hajottamalla, glykolyysin avulla ja hiilihydraattia, rasvoja tai proteiineja hajottamalla. Kreatiinifosfaatin hajottaminen ja glykolyysi ovat anaerobisia (hapettomia) prosesseja. Rasvasta, hiilihydraatista ja proteiinista saadaan energiaa useiden reaktioiden jälkeen aerobisesti (hapen avulla). (Jeukendrup ym. 2004, s. 35-38).

Anaerobisen energiantuoton avulla saadaan energiaa lyhytaikaiseen voimakkaaseen energiantarpeeseen. Pitkäaikainen tasainen energiantuotto tapahtuu aerobisesti hiilihydraateista, proteiineista ja rasvoista. Proteiinin käyttö energiaksi on kuitenkin äärimmäisen pientä energiatasapainossa olevalla yksilöllä. Tästä syystä kirjallisuudessa ja jäljempänä puhutaankin lähinnä hiilihydraateista ja rasvoista saatavasta energiasta. Yleisesti uskotaan lihaksen energiantarpeen säätelevän hiilihydraattiaineenvaihduntaa. Sen sijaan lihaksen energiantarpeella ei ole suoraa yhteyttä rasva-aineenvaihduntaan. Mekanismi ei ole vielä kuitenkaan täysin selvä ja sen useista vaiheista kiistellään. Esimerkiksi useissa tutkimuksissa plasman lisääntynyt vapaiden rasvahappojen määrän on todettu lisäävän rasvan käyttöä ja vähentävän näin ollen hiilihydraattien käyttöä. (Jeukendrup ym. 2004, s.136-139).

2.2 Rasvan rakenne

2.2.1 Mikrorakenne

Rasvahappo koostuu pitkästä rasvaliukoisesta hiilivetyketjuista, jonka toisessa päässä on vesiliukoinen karboksyyliiryhmä (kuva 1). Hiilivetyketjun pituus vaihtelee 4:stä hiilestä 36:een hiileen. Yleisimmin hiilten määrä ketjussa on 16:sta ja 18:sta välillä. Rasvahappoja sanotaan lyhyiksi, keskipitkiksi tai pitkiksi sillä perusteella, että onko niiden hiilivetyketjussa alle 8, 8-10 vai yli 10 hiiliatomiä. Rasvahapot jaetaan lisäksi tyydyttyneisiin ja tyydyttymättömiin. Tyydyttymättömät rasvahapot sisältävät yhden tai useamman kaksoissidoksen hiiliatomiensa välillä. Toisaalta tyydyttyneissä rasvahapoissa kaikki hiiliatomit ovat sitoutuneet maksimaaliseen määrään vetyatomeja. Rasvahappojen fysiologiset eroavaisuudet selittyvät suurimmaksi osaksi hiilivetyketjun pituudella ja sen tyydyttyneisyystasolla. (Cooper 2000, s.44-45 ; Lehninger ym. 1993, s. 240-243).



KUVA 1. Rasvahapon rakenne. (mukailtu Lehninger ym. 1993, s. 242).

2.2.2 Makrorakenteet

Rasvahapot esiintyvät harvoin sellaisenaan elimistössä. Useimmissa tapauksissa ne ovat sitoutuneet kemiallisiksi yhdisteiksi esimerkiksi glyserolin tai proteiinin kanssa. Seuraavassa esitellään ihmisen elimistössä esiintyvien rasvahappojen yleisimmät ilmenemismuodot: triglyseridit, fosfolipidit ja steroidit.

Triglyseridit. Triglyseridi on rasvahapon varastomuoto. Se syntyy kolmen rasvahapon sitoutuessa esterisidoksella glyserolimolekyyliin. Triglyseridi on lähes kuivaa rakennetta sen hydrofobisen (vettähyllkivän) ominaisuuden ansiosta. Rasvavarastoja syntyy hiilihydraatin, proteiinin tai rasvan ylijäämästä. Triglyseridin muotoutumista säädellään useilla hormoneilla. Esimerkiksi korkea insuliinin erityös edesauttaa hiilihydraattien varastoitumista triglyseridimuotoon. Lisäksi triglyseridiaineenvaihduntaa säätelevät glukakoni, kasvuhormoni ja lisämunuaisen hormonit. (Lehninger ym. 1993, s. 243-246).

Fosfolipidit. Fosfolipidien tärkein rooli on biologisten solukalvon rakenteellisena tukena toimiminen. Ne koostuvat kahdesta rasvahaposta, jotka ovat yhdistyneet fosfaattiryhmästä koostuvaan polaariseen (vesihakuinen) pääryhmään. Fosfolipidit ovat siis osittain polaarisia ja osittain hydrofobisia (vettähyllkivät rasvahapot). Vastakkaisista ominaisuuksista on hyötyä niiden toimiessa tukirakenteina biologisilla solukalvoilla. (Lehninger ym. 1993, s. 247-254).

Steroidit. Steroidit koostuvat neljästä yhteen liitetystä hiilivetyrenkaista. Niiden rooli elimistössä on kahdenlainen: solukalvojen rakenteena ja viestinvälittäjänä toimiminen. Nisäkkäiden yleisimmin esiintyvä steroidi on kolesteroli. Se on useiden hormonien esiaste. Sitä tarvitaan solunseinien rakentamiseen ja viestinvälittämiseen solujen välillä. Toimiessaan viestinvälittäjänä se sitoutuu lipoproteiiniin (kuljetusmolekyyliin). (Lehninger ym. 1993, s. 254-255).

2.3 Rasva ihmisessä

Rasva esiintyy ihmisillä rasvakudoksena, lihasten triglyserideina, plasman makrorakenteina sekä vapaina rasvahappoina. Rasvaan varastoituneen energian määrä ja laatu vaihtelee yksilöiden välillä suuresti. Eroihin vaikuttavat mm. perimä, ruokailutottumukset, liikunta-aktiivisuus ja –muotoon.

Rasvakudos. Nuorten aikuisten kehosta rasvaa on keskimäärin miehillä 15% ja naisilla 25%. Pääosa tästä rasvasta on sitoutuneena rasvasoluihin muodostaen rasvakudosta. Rasvakudos koostuu pääosin triglyserideista. Lisäksi se sisältää tukirakenteita. Ihmisellä on rasvakudosta sekä ihon alla, että sisäelinten ympärillä vatsaontelossa. Sen määrä vaihtelee ihmisen ravitsemuksellisesta tilasta riippuen. Rasvakudoksen tehtäviä ovat energiavarastona ja lämmöneristeenä toimiminen, sekä sisäelinten suojaaminen ulkoista fyysistä iskua vastaan.(McArdle ym. 2001, s. 28-29).

Lihasten triglyseridit. Lihasten triglyseridit ovat varastoituneet suurimmaksi osaksi lähelle lihassolun mitokondrioita. Luurankolihasissa on keskimäärin 12 mmol·kg⁻¹. triglyseridia. Määrä kuitenkin vaihtelee suuresti riippuen lihasfiiberityypistä, sekä harjoitus- ja ravitsemustilasta. Histologisissa tutkimuksissa on todettu tyyppin I fiiberien (hidas lihasfiiberi) sisältävän enemmän rasvaa kuin tyyppin II fiiberit (nopea lihasfiiberi). (Jeukendrup 1997, s. 36-38).

Plasman makrorakenteet. Triglyseridit, fosfolipidit ja kolesterolit esiintyvät verenkierrossa liponproteiineina, jotka sisältävät proteiiniosan ja rasvaosan. Yleisimpiä lipoproteiineja ovat keveimmistä aloittaen kylokromit, VLDL (very low density lipoproteins), LDL (low density lipoproteins) ja HDL (high density lipoproteins). Lipoproteiinit sisältävät rasvaa sitä enemmän, mitä kevyempiä ne ovat. Kylokromit kuljettavat rasvoja triglyseridimuodossa suolistosta maksaan ja rasvakudokseen. VLDL taas kuljettaa maksassa syntetisoituneita triglyseridejä maksasta rasvakudokseen. LDL kuljettaa kolesterolia maksasta elimistön soluihin, kun taas HDL kokoaa elimistön kudoksista kolesterolia ja kuljettaa sitä maksaan, jossa siitä muodostuu erilaisia yhdisteitä. (Lehninger ym. 1993, s. 676-678).

Vapaat rasvahapot. Vapaa rasvahappo termi (FFA) tarkoittaa rasvahappoja, jotka eivät ole sidottuja esterisidoksella. FFA on yleensä kiinnittynyt kuljettajaproteiiniin. Tosiasiassa vapaista rasvahapoista vapaana on vähemmän kuin 0,01% loppujen ollessa sitoutuneita. (Murray ym. 2000, s. 238).

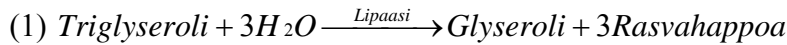
2.4 Rasva energianlähteenä

Rasvan reitti energiaksi on normaalioloissa nelivaiheinen. Ensimmäistä vaihetta kutsutaan lipolyysiksi, jossa triglyseridit pilkotaan glyseroliksi sekä vapaiksi rasvahapoiksi. Ennen toiseen vaiheeseen siirtymistä lipolyysistä vapautuneet rasvahapot aktivoidaan Asyyli Ko-A:ksi. Toinen vaihe on nimeltään β -oksidatio, jossa Asyyli Ko-A muutetaan Asetyyli Co-A:ksi. Kolmannessa vaiheessa sitruunahappokierrossa rasvaaineenvaihdunta yhdistyy hiilihydraattiaineenvaihdunnan kanssa. Sitruunahappokierron lopputuotteena on hiilidioksidia ja vetyatomeja. Vetyatomit sitoutuvat entsyymien kanssa ja siirtyvät neljänteen vaiheeseen. Elektroninsiirtoketjussa siirretään vetyatomeihin sitoutuneita entsyymejä eteenpäin vapauttaen energiaa konsentraatioerojen ansiosta. (Jeukendrup 1997, s. 36-38 ; McArdle ym. 2001, s. 148-149).

Poikkeuksellisissa olosuhteissa rasvasta saadaan energiaa ketoosin avulla. Ketoosi on tila, johon nisäkkään elimistö voi ajautua maksan glykogeenivarastojen tyhjennyttyä. Tyhjeneminen johtuu liian vähäisestä hiilihydraatin saannista ruokavaliossa. Veren insuliinipitoisuuden laskiessa ja glukagonipitoisuuden noustessa käynnistyy glukoneogeneesi, jossa elimistö alkaa muodostaa glukoosia vapaista aminohapoista, rasvojen glyserolista ja laktaatista. Ketoosi on kuitenkin poikkeustila elimistössä, eikä sitä käsitellä tässä työssä laajemmin. (Lehninger ym. 1993, s.501).

2.4.1 Lipolyysi rasvakudoksesta

Lipolyysi tapahtuu solun sytosolissa. Lipolyysissä triglyseridi pilkotaan glyseroliksi ja kolmeksi rasvahapoksi lipaasientsyymien avulla:



Lipolyysin määrä ja samalla rasvakudoksen hajottamisen määrä on suuresti riippuvainen hormoneilla säädeltävän lipaasientsyymin määrästä. Entsyymien aktiivisuus on riippuvainen inhiboivista ja aktivoivista tekijöistä. Tutkimusten mukaan lipolyysiä aktivoivia tekijöitä ovat adrealiini, noradrenaliini, glukokortikoidit, kilpirauhasen erittämät hormonit sekä kasvuhormoni. Inhiboivia tekijöitä ovat insuliini ja laktaatti. (Jeukendrup 1997, s.28-30; McArdle ym. 2001, s. 148-149).

Lipaasientsyymin stimuloi rasvahapot diffusoitumaan rasvakudoksesta verenkiertoon. Glyserolimolekyyli diffusoituu myös verenkiertoon ja siirtyy maksaan, jossa siitä syntyy glukoosia. Veren glyserolipitoisuutta pidetäänkin merkinä rasvojen suuresta käytöstä. Melkein kaikki rasvahapot kiinnittyvät plasmaproteiiniin albumiiniin siirtyäkseen aktiiviseen kudokseen vapaana rasvahappona (FFA). Aktiivisen lihaskudoksen kohdalla FFA diffusoituu ja/tai kulkeutuu kuljetusproteiinin avulla solukalvon lävitse. Lihaskudoksen sisällä FFA joko sitoutuu triglyserideiksi tai sitoutuu lihasten sisäisten proteiinien kanssa. Tämän jälkeen yhdiste päätyy useiden entsyymien aktiivisuuden seurauksena lihassolun mitokondrion sisäkalvolle. (McArdle ym. 2001, s. 148-152).

2.4.2 β -oksideatio

Ennen β -oksideatiota rasvahappo aktivoidaan Asyyli Ko-A:ksi käyttäen ATP:tä energianlähteenä. Aktivoidut rasvahapot kulkeutuvat mitokondrion matriksiin, jossa β -oksideatio tapahtuu. Siinä aktivoitunut rasvahappo muutetaan askeleittain Asetyyli-CoA:ksi ja kahdella hiiliatomilla lyhentyneeksi Asyyli Ko-A:ksi. β -oksideatiota jatketaan, kunnes Asyyli Ko-A on muuttunut lopullisesti Asetyyli-CoA:ksi. Rasvahappoketjun pituuden ja tyydyttyneisyystason vaikutusta lopulliseen hapetusasteeseen on tutkittu laajalti. On esimerkiksi havaittu, että keskipitkät rasvahapot hapettuvat parhaiten. (Jeukendrup 1997, s. 39-40; Murray ym. 2000, s.239-244).

2.4.3 Sitruunahappokierto ja elektroninsiirtoketju

Sitruunahappokierto tapahtuu mitokondriossa. Siinä Asetyyli-CoA :n asetyyliosa yhdistyy oxaloasetaatin kanssa, jolloin muodostuu sitraattia. Sitraatti menee läpi sitruunahappokierron ja kierto jatkuu, sillä alkuperäinen oxaloasetaatti molekyyliin liittyy uusia asetaattiryhmiä. Jokainen Asetyyli-CoA, joka liittyy sitruunahappokiertoon vapauttaa kaksi hiilidioksidiatomia ja neljä vetyatomia. Vapautuvat vedyt siirtyvät hapetus-pelkistysreaktioissa koentsyymeille, joita ovat NAD^+ ja FAD , jolloin niistä muodostuu NADH ja FADH_2 . Tästä NADH ja FADH_2 siirtyvät edelleen elektroninsiirtoketjuun. (McArdle ym. 2000, s.145-147).

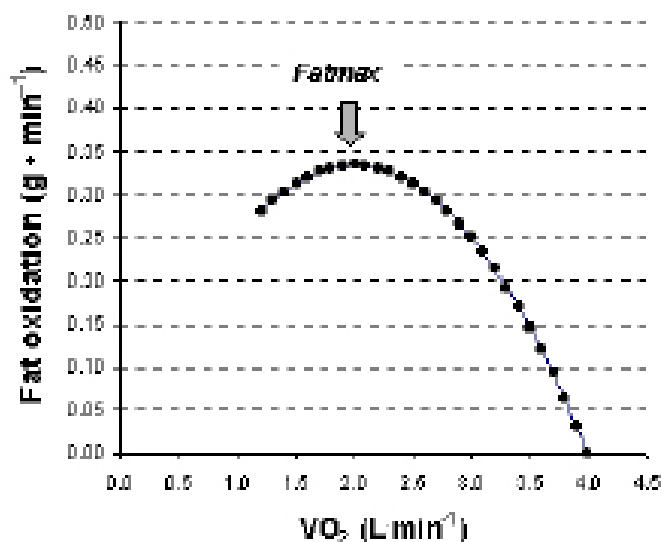
Elektroninsiirtoketju tapahtuu mitokondrion sisäkalvolla. Siinä sitruunahappokierrosta tulleisiin NADH :iin ja FADH_2 :een siirtyneitä elektroneja siirretään elektroninsiirtoketjun entsyymiltä toiselle. Tällöin elektronit menettävät potentiaalienergiaansa vähitellen ja vapauttavat energiaa. Jokaista NADH :ia kohden vapautuu 3 ATP-molekyyliä, kun taas jokaista FADH_2 :sta kohden syntyy kaksi ATP-molekyyliä. (McArdle ym. 2000, s.137-138).

3 FATMAX-PISTE JA SEN MÄÄRITTÄMINEN

3.1 Fatmax-pisteen fysiologista taustaa

Koska hapenkulutuksella ($\dot{V}O_2$) ja energiantuotolla on lähes lineaarinen riippuvuus (Pèronnet ym. 1991), niin myös hapenkulutuksella ($\dot{V}O_2$) ja teholla on lähes lineaarinen yhteys. Tehoa kuvataan usein raskituksen intensiteettinä, jota voidaan mitata hapenkulutuksen avulla. Usein raskitus ilmaistaan hapenkulutuksena ($\dot{V}O_2$) suhteutettuna henkilön maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ($\dot{V}O_{2max}$).

Hiilihydraattiaineenvaihdunta kasvaa kuormituksen intensiteetin kasvaessa. Rasva-aineenvaihdunta kasvaa tiettyyn pisteeseen asti, mutta vähenee tämän pisteen jälkeen. Pistettä, jossa rasvan käyttö energiaksi on absoluuttisesti suurinta ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$), kutsutaan fatmax-pisteeksi. Raskituksen ollessa 25% $\dot{V}O_{2max}$ -arvosta melkein kaikki energia saadaan rasvoista. Liikuttaessa noin 60% $\dot{V}O_{2max}$ -arvosta rasvoista tulee noin 50% energiasta. Fatmax-piste löytyy yleisesti 50-70% $\dot{V}O_{2max}$ -arvosta. (Jeukendrup, 1997). Kuvassa 2. on esitetty rasvankäyttö raskituksen intensiteetin funktiona.



KUVA 2. Teoreettinen käyrä rasvan hapettumisesta kuormituksen intensiteetin ($\dot{V}O_2$) funktiona (Jeukendrup & Achten 2001).

Achten ym. (2002) etsivät harjoitteluintensiteettiä, jolla fatmax-piste saavutetaan. Tutkimuksen päälöydöksenä oli, että rasvan käyttö energiaksi kasvaa rasituksen ollessa 25% -65% VO_{2max} - arvosta ja vähenee rasituksen ollessa 85% VO_{2max} - arvosta. Venables ym. (2005) tekivät suuren otannan (N=300) tutkimuksen liittyen fatmax-pisteeseen. Keskimääräisesti fatmax-piste tuli $48.3 \pm 0.9\%$ VO_{2max} -arvosta sykkeen ollessa $61.5 \pm 0.6\%$ maksimaalisesta sydämen sykintätaajuudesta.

Jeukendrupin review-artikkeleissa (1998a; 1998b; 1998c) käsitellään rasva-aineenvaihduntaa kuormituksen aikana. Niistä löytyvän tiedon perusteella fatmax-piste on juuri sen intensiteetin alapuolella, missä glykolyysi alkaa kasvamaan merkittävästi. Coyle ym. (1997) tekemässä tutkimuksessa todistettiin ilmiötä syöttämällä koehenkilöille merkittävä määrä hiilihydraattia ennen suoritusta. Tuloksena oli, että pitkäketjuisia rasvahappoja hapetettiin vähemmän hyperglykemian aikana. Tulosten perusteella pääteltiin, että glykolyysin lisääntyminen inhiboi rasva-aineenvaihduntaa. Lisäksi useissa tutkimuksissa on todettu rasvahappojen määrän verenkierrossa vähentyvän intensiteetin kasvaessa. Tämä voi olla seurausta vähentyneestä verenkierrosta rasvakudoksessa tai laktaatin lisääntymisestä.

Achten ja Jeukendrup (2004) tutkivat fatmax-pisteen yhteyttä laktaatin erittymiseen polkupyöräergometrillä suoritettulla kuormituksella (N=33). Tutkimuksen perusteella fatmax-piste ja veren laktaattikonsentraation nousu perustasosta ensimmäisen kerran löytyivät samalla kuormalla. Lisäksi on tehty useita tutkimuksia fatmax-pisteeseen liittyen. Achten ym. 2002 etsivät sopivaa kuormitusmallia fatmax-pisteen määrittämiseksi ja toisaalta Achten ym. 2003b tutkivat samaisen kuormitusmallin luotettavuutta. Achten & Jeukendrup 2003a selvittivät ennen testiä nautittujen hiilihydraattien vaikutusta fatmax-pisteeseen ja Bennard & Doucet 2006 tutkivat ruoan glykeemisen indeksin vaikutusta fatmax-pisteeseen. Knechtle ym. 2004a. tutkivat sukupuolen vaikutusta fatmax-kuormaan. Tutkimuksen perusteella naisilla fatmax-piste saavutetaan suuremmilla sykkeillä kuin miehillä.

3.2 Fatmax-pisteen mittaaminen

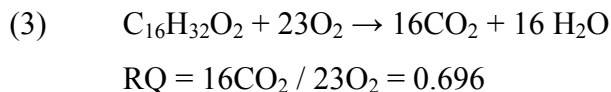
Seuraavissa kappaleissa kerrotaan fatmax-pisteen mittaamisesta ja määrittämisestä hengitysosamäärän avulla. Lisäksi perustellaan sykevälvaihtelumuuttujien ja fatmax-pisteen mahdollinen välinen yhteys aikaisempaan tutkimustietoon perustuen.

3.2.1 Hengitysosamäärä

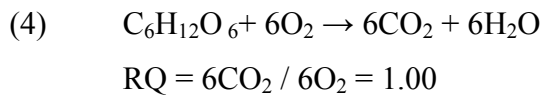
Fatmax-piste määritetään joko suoralla tai epäsuoralla kalorimetrialla. Yleisimmin mittaukset tehdään epäsuorasti käytännön järjestelyiden mahdollistamiseksi, jolloin tutkitaan vain hapen (VO_2) kulutusta ja hiilidioksidin (VCO_2) tuottoa. Suorassa kalorimetriassa tutkitaan lisäksi lämmöntuottoa. Energiasubstraattien käyttöä rasituksen aikana on tutkittu hengityskaasujen tilavuus- ja konsentraatioeroista. Hengityskaasut ovat tässä yhteydessä hiilidioksidi (CO_2) ja happi (O_2). Tutkimustapa perustuu siihen, että hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat tarvitsevat eri määrän happea hapettuakseen elimistössä. Hengitysosamäärä (RQ) kuvaa hengityskaasujen konsentraatio- ja tilavuuseroja seuraavan kaavan mukaan:

$$(2) \quad RQ = \frac{CO_2 \text{ tuotettu}}{O_2 \text{ kulutettu}}$$

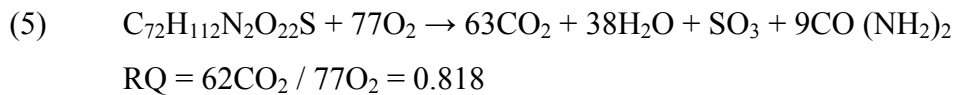
Kuten kappaleessa 2.3 kerrottiin rasvahappojen hiilivetyketjujen pituus ja tyydyttyneisyystaso vaikuttavat rasvan hapettumiseen. Täten kokonaan rasvoilla tapahtuvalla energian arvolla RQ-arvo vaihtelee arvojen 0,686-0,727 välillä. Rasvojen palamisytälö on kuitenkin tyypillisesti:



Kaavassa $C_{16}H_{32}O_2$ on palmitiinihappo. RQ-arvo 1,00 edustaa kokonaan hiilihydraateilla toimivaa energiantuotantoa, jolloin palamisytälö on seuraava:



Yhtälössä $C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ on glukoosi. Proteiinien palaessa RQ saa arvon 0,82 palamisyhtälön ollessa:

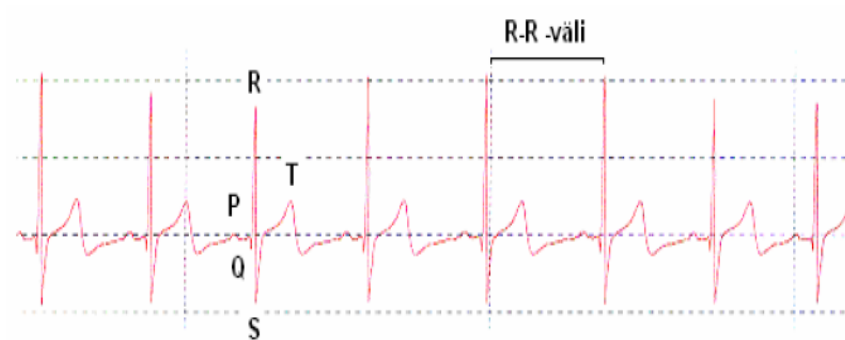


Kaavassa $C_{72}H_{112}N_2O_{22}S + 77O_2$ on ketohappo. Yleisesti RQ-arvosta käytetään nk. non-protein arvoja, joissa proteiinin avulla tuotettu energia jätetään huomioimatta. (McArdle ym. 2001).

Lusk kehitti jo vuonna 1924 non-protein taulukon energiasubstraattien arvioimiseksi RQ-arvosta (Lusk 1924). Pèronnet ym. (1991) päivittivät Luskin taulukon. Päivitetty taulukko on liitteenä (liite1). Taulukko perustuu a) triglyseridivarastojen keskimääräiseen koostumukseen, b) rasvan ja hiilihydraatin energiapotentiaaliin, c) hiilidioksidin ja hapen yhden moolin volyyymiin STDP-olosuhteissa. RQ-arvo antaa hyvän arvion rasvojen ja hiilihydraattien käytöstä energiantuotossa. Arvio olettaa fysiologisesti vakiintunutta tilaa (steady-state), jossa hapenkulutus edustaa hapenkulutusta myös kudostasolla ja laktaattia ei käytetä energiantuottamiseen. Jos fysiologinen tila ei ole steady-state tilassa, ei hiilihydraattien ja rasvojen suhdetta tulisi arvioida hengityskaasujen perusteella (Montoye ym. 1996, s.8-9). Jeukendrup ja Wallis (2005) käsittelivät epäsuoran kalorimetrian ja RQ-arvon luotettavuutta energiasubstraattien tutkimisessa. Tutkimusten mukaan RQ-arvo on luotettava tapa tutkia substraattien käyttöä urheilun aikana matalalla ja keskiraskaalla suoritusteholla. Toisaalta kovalla teholla (80-85 % VO_{2max} - arvosta) urheiltaessa anaerobisten energianlähteiden avulla RQ-arvo liioittelee käytetyn hiilihydraatin määrää ja näin ollen aliarvioi rasvan määrää. Tämä johtuu elimistön happitasapainon muutoksesta vetyionien erittyessä verenkiertoon. Positiivisesti varautuneet vetyionit $[H^+]$ sitovat itseensä bikarbonaatti-ioneita $[HCO_3^-]$. Näin ollen vapautuu ylimääräistä hiilidioksidia ilman hapellista energiantuottoa. RQ- menetelmässä voi virhettä tulla myös glukoneogeesissä, liponeogeesissä ja ketoneogeesissä. (Jeukendrup & Wallis 2005)

3.2.2 Sykevälivaihtelu

Vaikka sydämen sykintätaajuus (lyöntiä / minuutti) olisi vakio, aika kahden sykäyksen välissä (R-R) voi erota merkittävästi. Vaihtelua sykintöjen välissä kutsutaan sykevälivaihteluksi (kuva 3.). Sykeväivaihtelua säädelään tarkasti useiden eri tekijöiden avulla. Merkittävin säätelytekijöistä on autonominen hermosto. Sykevälivaihtelu tarjoaakin epäsuoran autonomisen hermoston mittarin, jota käytetään tieteellisessä tutkimuksessa. (Achten & Jeukendrup 2003)



KUVA 3. Sykeväliksi kutsutaan kahden R-R-piikin välistä aikaa. Kuvassa sydänsähkökäyrää. (Kuopion yliopisto) www.uku.fi/tyosuojelu/PPT/Tyokuormitusluento_9-06_sari.ppt

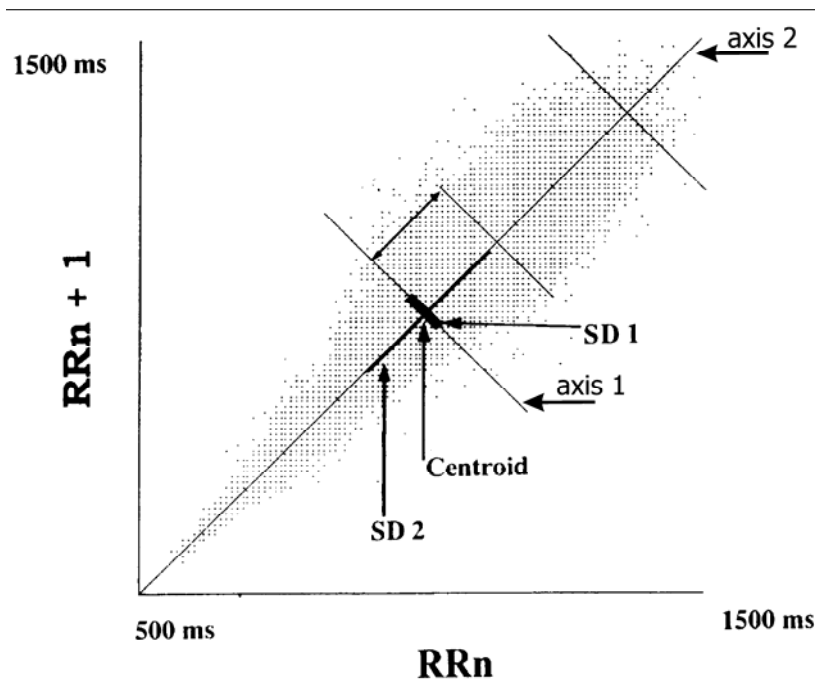
Sykevälivaihtelua voidaan analysoida matemaattisesti sekä lineaarisilla, että epälineaarisilla analyysimenetelmillä. Lineaariset analyysimenetelmät jaetaan aika- ja taajuuskenttäanalyysiin. Aikakenttäanalyysi on statistinen analyysi R-R-intervallijaksoista tai niiden eroista. Taulukossa 1. esitellään tärkeimpien sykevälivaihtelumuuttujien jaottelu analysointimenetelmien mukaan. (Tulppo 1998).

Taulukko 1. Lineaarisesti ja epälineaarisesti määritettävät tärkeimmät sykevälimuuttujat ja niiden kuvaus ja yksikkö. (Tulppo 1998).

Muuttuja	Kuvaus ja yksikkö
Aikakenttämuuttujat	
Aika	R-R- intervallien välinen aika (ms)
SDNN	R-R- intervallien välinen keskihajonta (ms)
rMSSD	Neliöjuuri peräkkäisten R-R- intervallien erotusten neliöiden keskiarvosta (ms)
pNN50	Prosentuaalinen osuus niistä peräkkäisistä R-R- väleistä, jotka poikkeavat enemmän kuin 50 ms.
Taajuuskenttämuuttujat	
VLF	Erittäin matalataajuuksinen sykevälivaihtelu 0-0,04 HZ:n välillä (ms ²)
LF	Matalataajuuksinen sykevälivaihtelu 0,04-0,15 HZ:n välillä (ms ²)
HF	Korkeataajuuksinen sykevälivaihtelu 0,15-0,4 Hz välillä (ms ²)
LF/HF	Korkeataajuus- ja matalataajuusvaihtelun suhde (ms ²)
Epälineaariset muuttujat (Poincaré plot-kuvaus)	
SD1	Välitön lyönti-lyönniltä tapahtuva vaihtelu (ms)
SD2	Pitkänajan sykevaihtelu (ms)

Taajuuskenttäanalyysi (spektrianalyysi) voidaan tehdä lyhyistä ja pitkistä analogisista tai digitaalisista EKG-rekisteröinneistä. Tämän jälkeen analoginen data digitalisoidaan ja saatu data tallennetaan tietokoneelle takogrammin muodossa. Takogrammista tehdään spektrianalyysi, jonka perusteella voidaan määrittää eri taajuuksilla tapahtuva vaihtelu. Epälineaarista analyysimenetelmistä yleisin on Poincaré plot eli paluukuvaus. Se on vektorianalyysi, jossa jokainen R-R-intervalli merkitään pisteellä xy-koordinaatille edellisen R-R- intervallin funktiona siten, että vaaka-akselilla on aina edellinen arvo ja y-akselilla on sitä seuraava (kuva 4). Kuvalle tehdään kvantitatiivinen analyysi siten, että piirretään sellaiset y- ja x-akselin suuntaiset suorat, että ne leikkaavat pistejoukon keskikohdassa (kuva 4. Centroid). Keskikohta vastaa keskimääräistä R-R-intervallia. Suorat käännetään 45 ° myötäpäivään, jonka jälkeen pistejoukon keskihajonta (SD1)

lasketaan kääntyneen x-akselin suuntaisen suoran (kuva 4. axis1) ympärillä. Suora kulkee keskipisteen läpi. Pitkänajan hajonta SD2 määritetään taas kääntyneen y-akselin suuntaisen suoran (kuva 4. axis2) ympärillä olevan pistejoukon keskihajonnaksi. Suora kulkee aiemmin määritellyn keskipisteen läpi. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki nuoren terveen ihmisen Poincaré plotista. (Laitio ym.2001).



KUVA 4. Poincaré plot terveen ihmisen sykevälivaihtelusta. SD1 kuvaa lyhytaikaista lyöntilyöntilyöntiltä tapahtuvaa vaihtelua ja SD2 jatkuvaa pitkän ajan vaihtelua. (Laitio ym.2001).

Sykevälivaihtelu on suurinta terveillä ja hyväkuntoisilla ihmisillä. Muuttujista SDNN heijastaa sekä parasympaattista, että sympaattista aktiivisuutta ja rMSSD pelkästään parasympaattista aktiivisuutta. Taajuusmuuttujista HF-taajuuden tiedetään edustavan parasympaattisen aktiivisuuden tasoa, kun taas LF-taajuuden uskotaan heijastavan sympaattista aktiivisuutta. LF/HF-suhde kuvaa parasympaattista ja sympaattista aktiivisuutta. Mitä matalampi luku on, sitä rentoutuneempi on ihminen. SD1 arvo heijastaa parasympaattisen hermoston toimintaa ja sen tiedetään korreloivan hyvin HF-taajuuden kanssa. SD2 muuttuja edustaa sekä parasympaattisen, että sympaattisen hermoston toimintaa. (Achten & Jeukendrup 2003c; Aubert ym. 2003; Laitio ym. 2001)

Sykevälivaihtelun yhteyttä fatmax-pisteeseen ei ole tiettävästi toistaiseksi tutkittu. Toisaalta sykevälivaihtelun yhteyttä aerobiseen ja anaerobiseen kynnykseen on tutkittu.

Yleisesti uskotaan fatmax-pisteen sijaitsevan aerobisen kynnyksen läheisyydessä. Astorino (2000) tutki aerobisen kynnyksen yhteyttä maksimaaliseen rasvankäyttöön kuormituksen aikana aktiivisilla naisilla. Tutkimuksen tuloksena maksimaalinen rasvankäyttö ja aerobinen kynnys korreloivat. Vastakkaisia havaintojakin on saatu. Esimerkiksi Bircher ym. (2005) tutkivat aerobisen ja anaerobisen kynnyksen yhteyttä rasvankulutukseen urheilun aikana ylipainoisilla naisilla ja miehillä. Tutkimuksen mukaan yhteyttä kynnyksien ja maksimaalisen rasvankäytön välillä ei ole.

Cotting ym. (2006) tutkivat sykevälivaihtelumuuttujien yhteyttä aerobiseen ja anaerobiseen kynnukseen. Tutkimuksessa kaksitoista ammattilaisjalkapalloilijaa suoritti portaittain nousevan kuormituksen testin juoksemalla maksimaaliseen suoritukseen saakka. Aerobinen ja anaerobinen kynnys määritettiin sekä hengityskaasujen perusteella, että sykevälivaihtelumuuttujien avulla määritetyn mallin avulla. Hengityskaasujen perusteella kynnykset määritettiin yleisten standardien mukaan siten, että kolme asiantuntijaa määritteli kynnykset itsenäiseksi. Sykevälivaihtelun perusteella kynnykset määritettiin HF-taajuuksisen sykevälivaihtelun perusteella siten, että HF-teho (ms^2) kyseisellä ajanhetkellä ja HF-kaistan se taajuus (Hz), jolla oli eniten tehoa, kerrottiin keskenään. Näiden tulosta muodostettiin muuttuja $\text{HF} \cdot \text{fHF}$ ($\text{ms}^2 \cdot \text{Hz}$). $\text{HF} \cdot \text{fHF}$ piirrettiin käyrä ajan funktiona. Käyrän ensimmäinen epälineaarinen nousukohta määritettiin aerobiseksi kynnukseksi ja käyrän toinen epälineaarinen nousukohta anaerobiseksi kynnukseksi. Tämän jälkeen kirjattiin ylös testin kuorma, jolla saavutettiin aerobinen ja anaerobinen kynnys. Hengityskaasuista ja sykevälimuuttujista määritettyjä kuormia verrattiin keskenään. Aerobisen kynnyksen kuorma korreloi ensimmäisen nousukohdan kanssa $r=0,94$ ja $p<0,001$ ja anaerobinen kynnys korreloi toisen nousukohdan kanssa $r=0,96$ ja $p<0,001$. Koska aerobisen kynnyksen oletetaan olevan lähellä fatmax-pistettä, voidaan sykevälimuuttujien perusteella pyrkiä määrittämään fatmax-pistettä.

4 FATMAX-PISTEeseen VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Rasva-aineenvaihdunnan tuloksena urheilun aikana tuotetaan käytetystä energiasta 30-80%. Kuormituksen kasvaessa verenkierto lisääntyy rasvakudoksessa, joka puolestaan lisää vapaiden rasvahappojen vapautumista verenkiertoon. Tämän jälkeen rasvahapot siirtyvät energiaksi lihakseen. Rasvahappojen vapautumiseen vaikuttavat sekä sympaattisen hermoston stimuloima hormonin erityys sekä veren insuliinipitoisuuden lasku urheilun aikana. Kevyellä ja keskiraskaalla kuormituksella rasvaa voidaan käyttää energialähteenä jopa kolminkertainen määrä lepotilaan verrattuna. Toisaalta kuormituksen kasvaessa suuremmaksi rasvakudoksesta vapautuvien vapaiden rasvahappojen määrä laskee ja siirrytään käyttämään lihaksen glukogeenivarastoja energianlähteeksi. (McArdle ym. 2000, s.29)

Fatmax-pisteeseen vaikuttaakin useita eri tekijöitä samanaikaisesti. Seuraavissa kappaleissa esitellään tarkemmin fatmax-pisteeseen vaikuttavia tekijöitä: edeltävä ravinto, kestävyysharjoittelu, lihassolujakauma, suorituksen kesto sekä kuormitustapa.

4.1 Edeltävä ravinto

Fatmax-pisteeseen vaikuttavat henkilön yleinen ravitsemustila sekä ennen suoritusta nautitun ravinnon laatu ja määrä. Jos ravinnosta ei saada riittävästi hiilihydraattia, aletaan energiaa pilkkomaan glykogeenista, joka on varastoitunut maksaan ja lihaksiin. Lihasten glykogeenivarastojen suuresta koosta on hyötyä haluttaessa urheilla suurella teholla. Esimerkiksi irtiotot tehdään glykogeenivarastoista saatavan energian avulla. Kestävyysurheilijat suosivatkin usein runsaasti hiilihydraattia sisältävää dieettiä yrittäen sen avulla kasvattaa lihasten glykogeenivarastoja. Joillakin yksilöillä pitkäaikainen korkea rasvapitoinen dieetti on kehittänyt kehon kykyä käyttää rasvaa energianlähteenä ja näin ollen säästää rajallisia hiilihydraattivarastoja. (Jeukendrup 1997)

Achten ym. (2003) tutkivat ennen suoritusta nautitun hiilihydraattiannoksen vaikutusta rasvan hapettumisen määrään sekä absoluuttiseen maksimaaliseen rasvan

hapettumispisteeseen. Tutkimuksen päälöydöksenä todettiin, että ennen suoritusta nautitun hiilihydraatin seurauksena rasvan hapettaminen energiaksi vähenee. Lisäksi fatmax-piste saavutetaan pienemmällä intensiteetillä.

Pasman ym. (1995) totesi kofeiinin nauttimisen ennen harjoitusta lisäävään kiertävän glyserolin määrää ja sitä kautta vaikuttavan rasvan hapettumiseen kestävyysurheilun aikana. Useissa tutkimuksissa on myös todettu sama ilmiö. Vastakkaisen tuloksen sai kuitenkin Jaakobson ym. (2000). He tutkivat kofeiinin nauttimisen vaikutusta urheilusuorituksessa käytettäviin energiasubstraatteihin. Tuloksen perusteella kofeiinin nauttimisella ei ollut merkitystä rasva- tai hiilihydraattiaineenvaihduntaan. Tämän hetken tiedon perusteella on kuitenkin näyttöä kofeiinin kiihdyttävästä vaikutuksesta rasva-aineenvaihduntaan. Lisäksi on ehdotettu mm. L-karnitiinin lisäävän rasvan hapettumista, mutta tällä hetkellä parantavasta vaikutuksesta ei ole näyttöä. Lyhyiden rasvahappojen nauttimisesta urheilun aikana pieniä määriä (10g/h) tai suuria määriä (30 g/h) ei myöskään vaikuta ratkaisevasti rasvan hapettumiseen. Paasto vaikuttaa suurentavasti vapaiden rasvahappojen käyttämiseksi energianlähteeksi, mutta toisaalta vaikuttaa negatiivisesti kestävyysuorituskykyyn. (Hawley ym. 1998).

4.2 Kestävyysharjoittelu

Kestävyysharjoittelun on todistettu parantavan rasvan käyttämistä energianlähteenä useissa tutkimuksissa monien rakenteellisten ja aineenvaihdunnallisten tekijöiden vaikutuksesta. Lihaksen hiussuonitus parantuu, jolloin myös verenkierto paranee. Veren mukana kulkevien hapen- ja substraattien kuljetus lihakseen myös paranee. Harjoittelun tuloksena myös mitokondrioiden määrä ja entsyymiaktiivisuus lisääntyvät. Lisäksi useissa tutkimuksissa on todistettu, että harjoiteltu lihas varastoi itseensä enemmän triglyserideja. On myös todettu, että harjoitellussa lihaksessa lipolyysiä stimuloivan lipoproteiinin aktiivisuus on parempi. (Hawley ym.1998)

Stisen ym. (2006) tutkivat rasvankäyttöä energianlähteenä kestävyysharjoitelleilla ja harjoittelemattomilla naisilla. Tutkimuksen perusteella saatiin merkittävä korrelaatio sille, että kestävyysharjoitelleilla rasvan hapettamiskyky oli parempi keskiraskailla sekä

raskailla kuormituksilla. Lisäksi lihasbiopsioiden perusteella todettiin, että harjoitelleilla henkilöillä entsyymiaktiivisuus oli korkeampi verrattaessa harjoittelemattomiin.

4.3 Lihassolujakauma

Lihassolut eivät ole keskenään samanlaisia, sillä niiden supistumisnopeudessa ja energia-aineenvaihdunnassa on eroja. Yksittäinen lihas sisältää kahdentyyppisiä soluja: hitaasti rekrytoituvia soluja (ST) ja nopeasti rekrytoituvia soluja (FT). Hitailla ST-soluilla kestää keskimäärin 110 ms maksimaalisen supistuksen aikaansaamiseksi ja FT-soluilla keskimäärin 50 ms. Histologiset tutkimukset ovat osoittaneet, että ST-lihassolut sisältävät näistä solutyypeistä enemmän lihakseen varastoitunutta rasvaa. Niillä on suurempi kyky aerobiseen energiantuottoon, koska niiden ympärillä on suuri määrä kapillaareja ja rasva-aineenvaihdunnassa tärkeitä sitruunahappokiertoa vaikuttavia entsyymejä. Toisaalta FT-solut taas pystyvät toimimaan paremmin anaerobisissa olosuhteissa. Nopeat FT-solut ovat vielä jaettu FTa-tyyppiin ja FTb-tyyppiin. Tyypeistä FTa-solut toimivat parhaiten muutamia minuutteja kestävässä suorituksissa, kun taas FTb-solut ovat parhaimmillaan suorituksen keston ollessa joitakin sekunteja. Vähiten lihakseen varastoitunutta rasvaa on FTb-soluissa. Turpeinen ym. (2006) tutkivat lihasfiiberityypin vaikutusta rasvojen hapettamiseen kevyellä ja keskiraskaalla kuormituksella. Tutkimuksessa määritettiin lihasbiopsian avulla koehenkilöiden (N=91) lihassolujakauma, jota verrattiin rasvojen käyttöön rasituksen aikana. Tulosten perusteella henkilöt, joilla oli enemmän ST-lihassoluja, käyttivät merkittävästi enemmän rasvaa energiaksi kuormituksen aikana. (Jeukendrup 1997, s. 36-38 ; Turpeinen ym. 2006; Wilmore&Costill 1994)

4.4 Suorituksen kesto

Suorituksen kestäessä tunnin tai enemmän aletaan rasvaa käyttää energianlähteenä lisääntyneessä määrin. Tämä johtuu lihasten glykogeenivarastojen pienentymisestä. Lihasten glykogeenivarastot alkavat pienentyä ja väsymystä alkaa ilmaantua, kun suoritus on kestänyt yli 60 minuuttia intensiteetin ollessa 60-80% VO_{2max} - arvosta. Kestävyysharjoitelleilla henkilöillä rasvankäyttö energiaksi on tehokkaampaa, jolloin

lihasten glukogeeniä säästetään ja suoritusta voidaan jatkaa samalla teholla pidempään. (Boyadjiev, 2004)

Meyer ym. (2007) tutkivat kuormituksen keston vaikutusta fatmax-pisteeseen. Tutkimuksessa suoritettiin viisi tunnin mittaista testiä, joissa kuormitus pysyi vakiona testin aikana. Käytetyt kuormitustasot olivat 55%, 65%, 75%, 85%, 95% henkilön anaerobisesta kynnystasosta. Testit olivat kestoiltaan yhden tunnin mittaisia ja ne toteutettiin neljän viikon aikana. Tulosten perusteella rasvaa käytettiin energiaksi sama prosentuaalinen osuus kaikilla intensiteeteillä ja rasvankulutuksen absoluuttinen määrä oli samankaltainen kaikilla viidellä intensiteetillä. Rasvankäytön prosentuaalinen osuus energianlähteenä kasvoi merkittävästi suorituksen keston pidentyessä. Näin ollen samaa fatmax-kuormaa ei voida käyttää kaikilla yksilöillä vaan jokaiselle yksilölle tulisi määrittää henkilökohtainen fatmax-piste.

4.5 Rasitustapa

Rasitustavan vaikutusta fatmax-pisteeseen on myös tutkittu. Kuormitettavan lihasmassan määrän uskotaan vaikuttavan VO_{2max} -arvoon ja toisaalta fatmax-pisteeseen. Glass ym.(1999) tutkivat juoksumatto- ja kuntopyöräkuormituksen vaikutusta fatmax-pisteeseen. Tutkimuksen tuloksen perusteella rasitustavalla ei ole merkittävää vaikutusta fatmax-pisteeseen. Kyseisen tutkimuksen mukaan fatmax-piste oli 40% VO_{2max} - arvosta. Maksimaalinen hapenkulutus ei poikennut suoritustavasta riippuen. Toisaalta Knechtle ym. (2004) vertasivat käsiergometrillä saavutettua rasvan hapettumista polkupyöräergometrillä saavutettuun. Tulosten perusteella käsiergometrillä kuormitettaessa rasvan maksimaalinen hapettumispiste löytyi 55% VO_{2max} -arvosta, kun taas polkupyöräergometrillä suoritettun testin fatmax-piste sijaitsi 75% VO_{2max} -arvosta.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena on saada lisätietoa päivittäisestä vaihtelusta fatmax-pisteessä. Lisäksi halutaan saada tietoa sykevälivaihtelun yhteydestä fatmax-pisteeseen. Yhteyteen liittyen halutaan tietää toisaalta päivittäisestä vaihtelusta muuttujien välillä sekä toisaalta kovan harjoitteluviikon vaikutusta sykevälivaihteluun, sykkeeseen ja fatmax-pisteeseen. Kovan harjoitusviikon avulla haluttiin tutkia muuttujia henkilön elimistön ollessa stressaantunut. Teknisenä sovelluksena haluttiin myös selvittää kahden eri menetelmän soveltuvuutta fatmax-pisteen määrittämisessä. Menetelminä käytettiin mitattujen arvojen perusteella määritettyä fatmax-pistettä sekä paraabelisovitteen avulla approksimoitua pistettä.

Tutkimusongelmat:

1. Vaihtelevatko fatmax-piste, syke ja sykevälivaihtelumuuttujat mittauskertojen välillä?
2. Voidaanko sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla arvioida fatmax-piste?

Hypoteesit:

1. Vaihtelevat. Mittauskertojen välillä ilmenee vaihtelua, joka johtuu henkilön harjoitus- ja ravitsemustilasta. Vaihtelua ilmenee myös sykevälimuuttujissa parasympaattisen ja sympaattisen hermotuksen aktiivisuuden muutoksista.
2. Voidaan. HR, HR_{max}, SD1 avulla voidaan arvioida fatmax-piste.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöiksi valittiin 12 vapaaehtoista ja tupakoimatonta naista. Henkilöt olivat terveitä ryhmäliikunnan ohjaajia tai aktiivisia ryhmäliikunnan harrastajia. Henkilöiden terveydentila ja taustatiedot selvitettiin ennen tutkimusryhmään hyväksymistä (liite 2). Ryhmään valittiin vain terveitä henkilöitä. Lisäksi ennen tutkimusta koehenkilöt lukivat läpi tiedotteen tutkimuksesta ja antoivat suostumuksensa tutkimukseen (liite 2). Koehenkilöillä oli oikeus kieltäytyä tutkimuksesta tai keskeyttää tutkimus missä vaiheessa tahansa. Heidän liikunnallista aktiivisuuttansa seurattiin tutkimusjakson aikana sykemittarien avulla (F6, Polar Electro, Kempele, Finland). Koehenkilöt punnittiin vaakalla (UWE AFN, Vaakatalo, Lahti, Finland) ensimmäisen testin alussa. Loput henkilötiedot tallennettiin esitietolomakkeen perusteella. Koehenkilöiden taustatiedot on esitetty taulukossa 2. Koehenkilöitä pyydettiin pidättäytymään ruoasta ja juomasta 2 h ennen jokaista spinning-pyörällä suoritettua mittausta. Juokсутesti suoritettiin yön yli kestäneen paaston jälkeen. Ennen VO_{2max} mittaavaa testiä (3 kpl) henkilöitä pyydettiin kieltäytymästä alkoholista.

TAULUKKO 2. Koehenkilöiden taustatiedot ja fyysinen suorituskyvyn luokka (ka = keskiarvo, sd = keskihajonta). *aktiivisuusluokan määrittelylomake liitteessä 2, ** fyysisen suorituskyvyn luokkien määrittelyperusteet liitteessä 3 (Shvartz ja Reibold 1990)

	Ka ± sd	pienin/suurin
Koehenkilöiden lukumäärä N	12	
Ikä (v)	32,9 ± 9,7	20 / 44
Pituus (cm)	164,1 ± 4,7	155 / 172
Massa (kg)	60,1 ± 4,5	54 / 67
BMI (kg/m²)	22,3 ± 1,7	19,7 / 25,2
VO_{2max} (ml/min/kg)	44,5 ± 3,7	40 / 49
Aktiivisuusluokka (1-7)*	6,75 ± 0,5	6 / 7
Fyysisen suorituskyvyn luokat **	5,8 ± 1,0	4 / 7

6.2 Tutkimusprotokolla

Tutkimus tehtiin tammi-huhtikuussa 2007. Juoksumatollat suoritettiin laboratorioolosuhteissa ja muut testit kenttäolosuhteissa yksityisen liikuntakeskuksen tiloissa. Tutkimuksen kulku on esitetty taulukossa 2, jossa esitetyt lyhenteet käytetään jäljempänä kuvaamaan testiä.

TAULUKKO 3. Tutkimukseen liittyvät mittaukset ja aikataulu. (L=laboratorio, K=kenttätesti, I=koehenkilö toteuttanut itsenäisesti)

Nimi	Testi	Paikka	Aika
J	Maksimaalista hapenottokykyä mittaava testi juoksumatolla	L	vko 0
T1	Päivittäistä vaihtelua mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 1
T2	Päivittäistä vaihtelua mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 2
T3	Päivittäistä vaihtelua mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 3
T4	Päivittäistä vaihtelua mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 4
T5	Päivittäistä vaihtelua mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 5
T6	Maksimaalista hapenottokykyä mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 6
K	Sykeohjattu kova harjoitusviikko (7 päivää testien välillä)	I	
T7	Maksimaalista hapenottokykyä mittaava testi spinning-pyörällä	K	vko 7

6.2.1 Maksimaalinen hapenottokykytesti juosten

Maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}) mittaava testi (J) suoritettiin laboratorioolosuhteissa kovan harjoitteluviikon ohjelmoimiseksi ja koehenkilöiden kuntoluokan määrittämiseksi. Mittaukset suoritettiin aamulla yön yli kestäneen paaston jälkeen. Koehenkilöitä kehoitettiin välttämään kovaa liikuntaa ja alkoholia testiä edeltävänä päivänä. Alussa henkilöille selitettiin testin kulku ja heidät punnittiin (UWE AFN, Vaakatalo, Lahti, Finland).

Maksimaalinen hapenottokyky määritettiin juoksumatolla (M:Pilex-max, 0250 103, Telineyhtymä, Kotka, Finland) kuormitusmallilla, jossa juoksumaton nousukulma on

koko ajan 1° ja maton nopeutta kasvatettiin testin aikana kolmen minuutin välein 1 km/h:ssa ilman pysähdyksiä. Aloituskuorma oli kaikilla henkilöillä 5 km/h:ssa. Ennen aloituskuormaa suoritettiin yhden minuutin mittainen totuttelujakso aloitusnopeudella. Kaksi ensimmäistä kuormaa suoritettiin kävellen ja nopeudesta 7 km/h lähtien koehenkilöt juoksivat. Testiä jatkettiin koehenkilön täydelliseen uupumukseen asti. Lopuksi mitattiin koehenkilöiden veren laktaattikonsentraatio (B-La mMol·l⁻¹) sormenpäiverinäytteestä (Lactate Scout, Senslab GmbH, Leirzig, Germany). Laktaattinäytteiden tulokset eivät ole kuitenkaan esitetty tässä työssä.

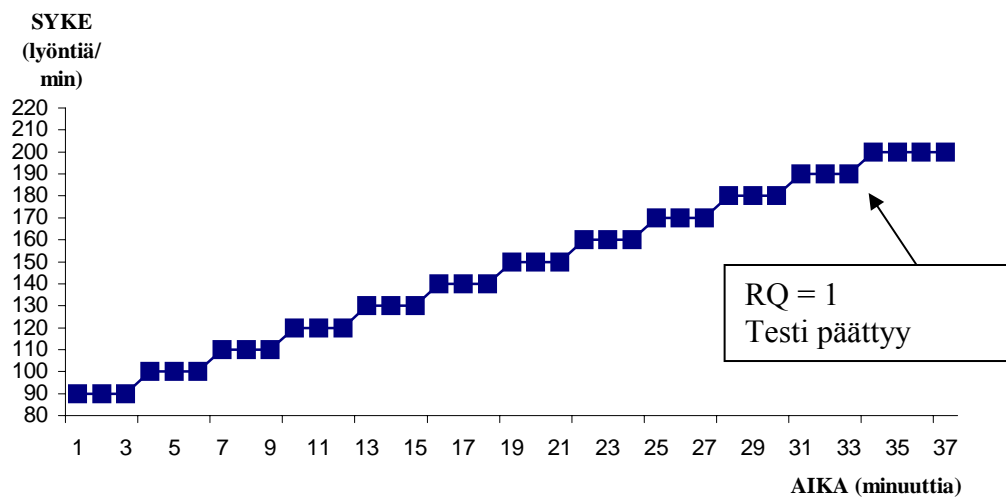
Ennen testiä koehenkilöille laitettiin hengitysmaski, jonka kautta kerättiin hengityskaasut jokaiselta hengitykseltä (breath-by-breath) ja mitattiin kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla (K4b² Cosmed, Rooma, Italia). Ilmankosteus mitattiin tarkoitukseen sopivalla mittarilla (Hygrometer testo 608-H1, Testo GmbH, Lenzkirch, Germany). Mittauspäivien alussa hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin referenssikaasun avulla happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien suhteen. Laite käynnistettiin 1h ennen kalibrointia. Lisäksi analysaattori kalibroitiin viiveen ja tilavuuden suhteen viikoittain. Koehenkilöiden sykettä ja sykevälivaihtelumuuttujia mitattiin sykemittarilla (Polar RS800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland) R-R-intervalleina tallennettuna.

6.2.2 Päivittäistä vaihtelua mittaava spinning-testi

Sykeohjatut spinning-harjoitukset (T1-T5) suoritettiin yksityisen kuntosalin tiloissa vaihtelevina vuorokauden aikoina. Mittausajat selviävät liitteestä 4. Jokainen koehenkilö suoritti viisi päivittäistä vaihtelua mittaavaa testiä. Spinning-pyörän penkin ja satulan asetukset määritettiin henkilökohtaisesti sopivaksi ensimmäisellä mittauskerralla. Lisäksi käsien otteen leveys tangosta määritettiin. Säädot kirjattiin ylös ja samoja asetuksia käytettiin jokaisella mittauskerralla. Lisäksi koehenkilöt ohjeistettiin käyttämään samoja jalkineita ja penkin pehmikettä jokaisella mittauskerralla. Mittaukset suoritettiin viikoittain. Koehenkilöille tulleiden satunnaisten esteiden takia väliin jäänyt testi korvattiin suorittamalla seuraavalla testiviikolla kaksi testiä. Henkilöitä kehoitettiin olemaan syömättä ja juomatta kaksi tuntia ennen testiä. Koehenkilöt saivat harjoitella normaalin rutiininsa mukaan mittausjakson aikana.

Testit suoritettiin spinning-pyörällä (225E Rock Merchating LTD, Congleton, United Kingdom). Pyörä oli koko mittausjakson aikana sama, mutta oli kuntosalin harrastajien aktiivisessa käytössä. Kuormitusmalli oli sykeohjattu aloitussykkeen ollessa aina 90 lyöntiä minuutissa. Sykettä kasvatettiin 10 lyöntiä minuutissa kolmen minuutin välein. Kolme minuuttia valittiin kuorman ajaksi Achten ym. 2002 tekemän tutkimuksen perusteella. Testi lopetettiin joko hengitysosamäärän ollessa yksi tai koehenkilön halutessa lopettaa väsymykseen vedoten. Kuormitusmalli on kuvattu kaaviossa 2.

KAAVIO 2. Kuormitusmalli päivittäistä vaihtelua määrittävässä spinning-testissä.



Ennen testiä koehenkilöille laitettiin hengitysmaski, jonka kautta hengityskaasut kerättiin jokaiselta hengitykseltä (breath-by-breath) ja mitattiin kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla (K4b² Cosmed, Rooma, Italia). Ilmankosteus mitattiin tarkoitukseen sopivalla mittarilla (Hygrometer testo 608-H1, Testo GmbH, Lenzkirch, Germany). Mittausjakson aikana käytettiin kahta saman valmistajan saman tyypin hengityskaasuanalysaattoria. Mittauspäivien alussa hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin referenssikaasun avulla happi- ja hiilidioksidipitoisuuksien suhteen. Laite käynnistettiin 1h ennen kalibrointia. Lisäksi analysaattori kalibroitiin viiveen ja tilavuuden suhteen viikoittain. Koehenkilöiden sykettä ja sykevälivaihtelumuuttujia mitattiin testin aikana R-R-intervalleina tallennettuna sykemittarin avulla (Polar RS800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Testien välissä sykevyö pestiin huolellisesti ja ennen asennusta se kasteltiin. Mittausten suorittaja huolehti, että sykevyö säädettiin riittävän tiukalle mahdollisimman hyvän R-R-intervallitiedon takaamiseksi.

6.2.3 Maksimihapenottotesti spinning-pyörällä

Maksimaaliset hapenottokykymittaukset (T6 ja T7) toteutettiin kaavion 2. mukaisella mallilla. Erona päivittäisen vaihtelun testeihin oli se, että hengitysosamäärän saavuttaessa arvon 1 testiä jatkettiin loppuun saakka. Hengitysosamäärän saavuttaessa arvon 1 sydämen sykintätaajuutta kehoitettiin nostamaan minuutin välein kymmenen sykettä, kunnes joko maksimaalinen hapenottokyky saavutettiin tai koehenkilö halusi vapaaehtoisesti lopettaa. Mittauksissa käytettävät asetukset ja mittalaitteet olivat samat. Lopuksi mitattiin koehenkilöiden sormenpääverenäytteestä B-La lopetusarvo (Lactate Scout, Senslab GmbH, Leirzig, Germany). Hengitysosamäärän saavuttaessa arvon 1, koehenkilö sai nousta polkemaan seisoma-asentoon sykkeen nostamiseksi. Maksimitestit suoritettiin tasan viikon välein kovan harjoitusviikon molemmin puolin (ks. kappale 7.2.4). Kahdella henkilöllä väli oli pidempi nuhakuumeen takia. Tällöin pidettiin yksi kuumeeton viikko ennen kovaa harjoitusviikkoa.

6.2.4 Kova harjoitusviikko

Henkilöt suorittivat kovan harjoitusviikon (K) testijakson loppupuolella kahden spinning-pyörällä suoritettujen maksimitestien välissä. Kovaa harjoitteluviikkoa varten koehenkilöt nauhoittivat liikunta-aktiivisuuttaan kolmen viikon ajan testijaksolla. Nauhoitus tapahtui sykemittarin avulla (F6, Polar Electro, Kempele, Finland). Koehenkilöiden henkilökohtaisiin sykemittareihin asetettiin juoksutestissä saavutettu sydämen maksimaalinen sykintätaajuus. Tarkkailtava harjoitusalue oli 80-100% sydämen maksimaalisesta sykintätaajuudesta. Sykemittari asetettiin tallentamaan kyseistä sykealuetta. Testaaja kirjasi koehenkilön viikon aikana suorittaman harjoittelun sykealueella viikoittain päivittäistä vaihtelua mittaavien testien yhteydessä. Kolmen viikon tallennusten harjoitusalueen keskiarvon perusteella määritettiin harjoitusaika kovalle viikolle. Kovalla viikolla kyseisellä sykealueella harjoiteltiin kaksinkertainen määrä normaaliolosuhteisiin verrattuna. Minimissään aika oli 120 ja maksimissaan 240 minuuttia. Ennen jälkimmäistä maksimitestiä sykemittarista tarkistettiin, että koehenkilö oli harjoitellut riittävästi sovitulla syketaajuudella. Yhdessä tapauksessa ehto ei täyttynyt ensimmäisellä kerralla, jolloin maksimitestit ja kova harjoitusviikko uusittiin.

6.3 Mittaustulosten käsittely

6.3.1 Juoksutestit

Juoksutestien (J) tuloksista kirjattiin ylös maksimisyke ja maksimaalinen hapenkulutus suurimpana puolen minuutin keskiarvona. Tuloksia käytettiin kovan harjoitusviikon ohjelmointiin sekä fyysisen kuntoluokan määrittämiseen. Juoksutestien tuloksista ei määritetty fatmax-pistettä, koska sitä ei katsottu suoraan vertailukelpoiseksi spinning-pyörällä tehtyihin testeihin.

6.3.2 Spinningtestit

Tässä tutkielmassa sekä päivittäistä vaihtelua mittaavia spinning-testejä (T1-T5) että kahta maksimaalista hapenottoa mittaavaa testiä (T6 ja T7) analysoitiin samalla tavalla, koska kuormitusmalli oli testeissä sama hengitysosamäärän arvoon 1 asti (kaavio 2). Koska suoritettavissa testeissä sykettä nostettiin kolmen minuutin välein, valittiin jokaisen kuorman lopusta ajanjakso ns. steady-state, jolta määritettiin analysoitavaksi mitattujen suureiden arvot. Ajanjaksoksi valittiin kuorman viimeinen minuutti, jonka todettiin analysointivaiheessa edustavan riittävän hyvin koko kuorman tasoa. Lisäksi steady-state tila oli jo saavutettu kuormituksen lisääntymisen jälkeen. Hengityskaasumittausten raakadatasta poimittiin kuorman viimeisen minuutin arvot. Ne keskiarvoistettiin ja kerättiin excel-taulukon Matlab-funktiota hyväksikäyttäen. Syke ja sykevälimuuttujat poimittiin Polar ProTrainer-ohjelmasta viimeisen minuutin keskiarvot manuaalisesti. Venablesin aineistossa (N=300) fatmax-piste löytyi naisilla $63,6 \pm 0,9$ % HR_{max} -arvosta, joka edusti $49,5 \pm 0,7$ % heidän VO_{2max} -arvosta (Venables ym. 2001). Cotting ym. tuloksen perusteella aerobinen kynnyksen ja sykevälimuuttuja HF-tehon perusteella voidaan määrittää aerobinen kynnyksen, jonka uskotaan sijaitsevan lähellä fatmax-pistettä (Venables ym. 2006). Tulpon väitöskirjan mukaan HF-teho korreloi vahvasti $r=0,94$ sykevälimuuttuja SD1 kanssa levossa ja hyvin $r=0,7$ aerobisella kynnyksellä (Tulppo 1998). SD1-arvoa on mahdollista analysoida monipuolisesti matemaattisesti ja sitä voidaan soveltaa teknistä laskentaa suorittavissa mittalaitteissa paremmin kuin muita sykevälimuuttujia. Näin ollen tässä tutkimuksessa pyrittiin

määrittämään fatmax-pistettä sykevälimuuttuja SD1 avulla. Sykevälimuuttuja SD1 arvo 49,5 VO_{2max} -arvosta oli Tulpon tutkimuksessa pyöristettynä kokonaislukuun 4 ms (Tulppo 1998). Näin ollen päädyttiin hakemaan yhteyttä fatmax-kuorman sykkeelle SD1 ollessa 4 ms. Syke, jolla SD1 oli 4 ms, poimittiin tiedostoista manuaalisesti.

Absoluuttinen rasvan käyttö (g/min) kuormilla saatiin laskettua tuotetusta hiilidioksidista ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ tai $l \cdot min^{-1}$) ja käytetystä hapesta ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ tai $l \cdot min^{-1}$) kaavalla (5) (Frayn 1983):

$$(5) \text{ Rasva} = 0,00167 \times (VO_2 - VCO_2) \text{ (ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) \text{ tai (l} \cdot \text{min}^{-1})$$

Energiankulutus (EE) (kcal/min) laskettiin kaavalla (Lusk, 1924):

$$(6) \text{ EE} = 3,8455 \times VO_2 \text{ (ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ tai l} \cdot \text{min}^{-1}) + \\ 1,2064 \times VCO_2 \text{ (ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ tai l} \cdot \text{min}^{-1})$$

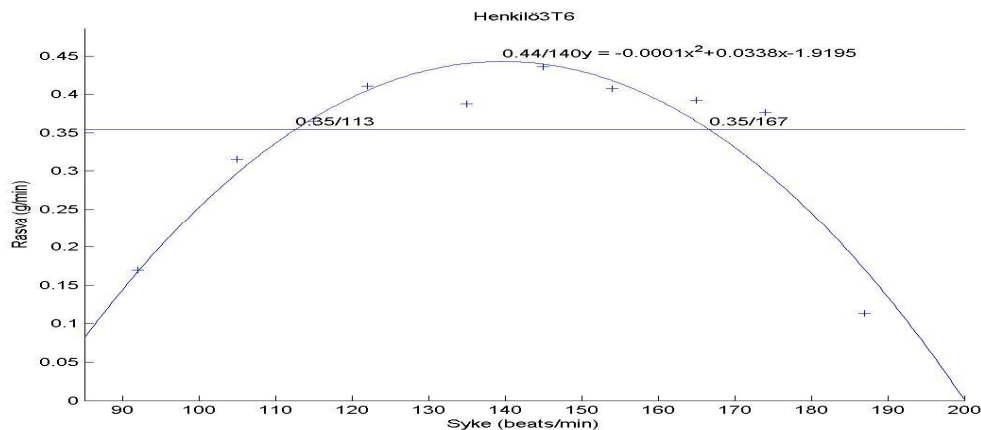
6.3.3 Fatmax-pisteen määrittäminen

Fatmax-pisteen määrittämiseksi käytettiin kuormien viimeisten minuuttien keskiarvoja. Näitä lukuja käsiteltiin kahdella menetelmällä fatmax-pisteen määrittämiseksi: Mitatut pisteet ja paraabelisovite. Mitattujen pisteiden perusteella voidaan määrittää tulos todellisen fysiologisen havainnon perusteella. Toisaalta on myös havaittu, että paraabeli approksimoi hyvin rasvan käytön riippuvuutta liikuntaintensiteetistä (Jeukendrup & Achten 2001). Mitatut pisteet antavat rasvankäytön vain kuormituskohtaisilla keskiarvosykkeillä, mutta niiden väliset arvot voidaan interpoloida paraabelisovitteen avulla.

Mitatut pisteet. Jokaiselta koehenkilöiltä analysoitiin testit (T1-T7). Kolmen minuutin mittaisista kuormista analysoitavaksi ajanjaksoksi valittiin kuorman viimeinen minuutti, jolle laskettiin keskiarvot hengityskaasu- ja sykevälimuuttujille. Tämän jälkeen laskettiin hengityskaasumuuttujista kaavan (5) mukaan absoluuttinen rasvankulutus (g/min) jokaiselle kuormalle. Fatmax-kuormaksi valittiin kuorma, jossa absoluuttinen

rasvankulutus (g/min) oli suurinta. Kuorman arvot valittiin muuttujiksi tilastolliseen analysointiin.

Paraabelisovite. Kuten mitatuissa pisteissä, myös paraabelisovitteen avulla analysoiduissa tuloksissa käytettiin kuormien viimeisten minuuttien keskiarvoja. Absoluuttinen rasvankulutus laskettiin myös kaavan (5) avulla. Matlab-ohjelmiston (R2006a, The MathWorks, INC., Natick, Yhdysvallat) avulla luotiin funktio, jonka avulla mittapisteisiin sovitettiin paraabeli pienimmän neliösumman menetelmällä (keskineliövirhe minimoidaan). Funktion lakipiste (derivaatan nolli-kohta) valittiin fatmax-pisteeksi. Jos tulospisteisiin sovitetulla paraabelilla ei ollut maksimia, niin tulos jätettiin analysoimatta. Tulokset kirjattiin ylös ja niitä käytettiin tilastollisessa analysoinnissa.



KUVA 5. Matlab-ohjelmalla piirretty toisen asteen paraabelifunktio. Mittapisteiksi valittiin kuormien viimeisten minuuttien keskiarvot.

6.3.4 Tilastolliset analyysit

Tilastolliseen tarkasteluun käytettiin SPSS -ohjelmaa (versio 14.0, SPSS, Inc., Chicago, Yhdysvallat). Hengityskaasu- ja sykemuuttujat on esitetty koehenkilöiden keskiarvoina ja keskihajontoina (ka ±sd).

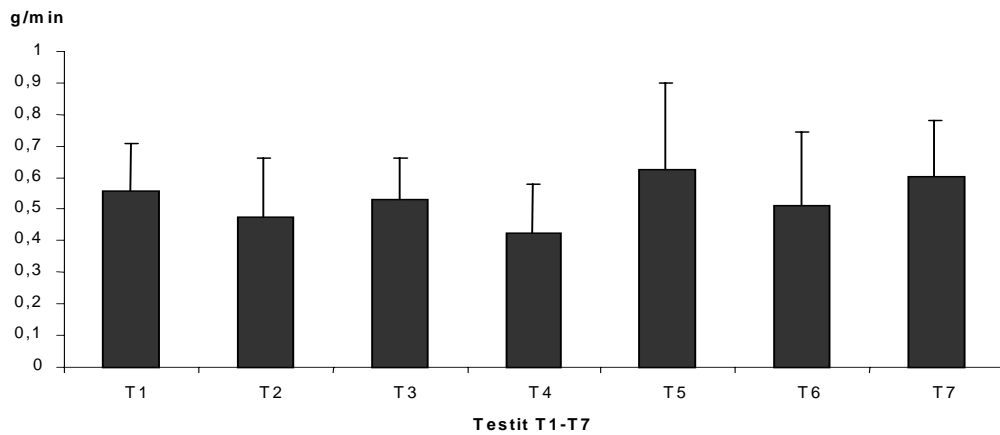
Mittausten väliset eroavaisuudet testattiin käyttäen SPSS-ohjelmassa toistomittausten varianssianalyysiä Bonferroni-korjauksella. Niiden välille laskettiin korrelaatiokertoimet (r). Tilastollisen merkittävyyden rajana oli $p < 0.05$. Lisäksi

selvitettiin korrelaatiota fatmax-sykkeen ja maksimisykkeen välille ja toisaalta fatmax-sykkeen ja sykereservin välille sekä fatmax-sykkeen ja sykkeen, jolla sykevälivaihtelu menee pysyvästi alle 4 millisekunnin välille. Kovan harjoitusviikon molemmin puolin oleville testeille T6 ja T7 suoritettiin parillinen T-testi Excel-ohjelmaa (versio 2000, Microsoft corporation, Seattle, Yhdysvallat) käyttäen. Tuloksille laskettiin myös Pearsonin korrelaatiokertoimet (r).

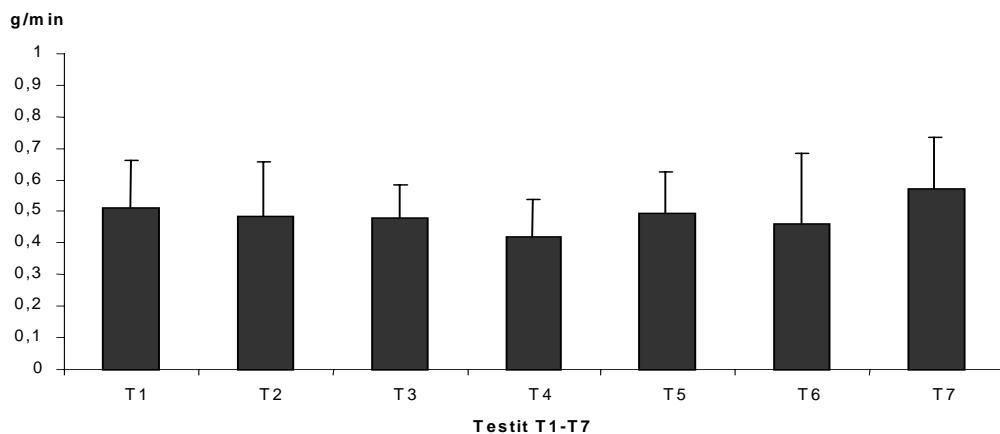
7 TULOKSET

7.1 Päivittäinen vaihtelu fatmax-pisteen muuttujissa

Absoluutteisessa rasvankulutuksessa (g/min) fatmax-kuormalla ei löytynyt merkitseviä eroja mittauskertojen välillä. Kuvassa 6. on esitetty keskiarvot ja keskihajonnat tuloksista mitattujen arvojen perusteella määritetystä fatmax-pisteestä ja kuvassa 7. paraabelisovitteen perusteella määritetystä fatmax-pisteestä.

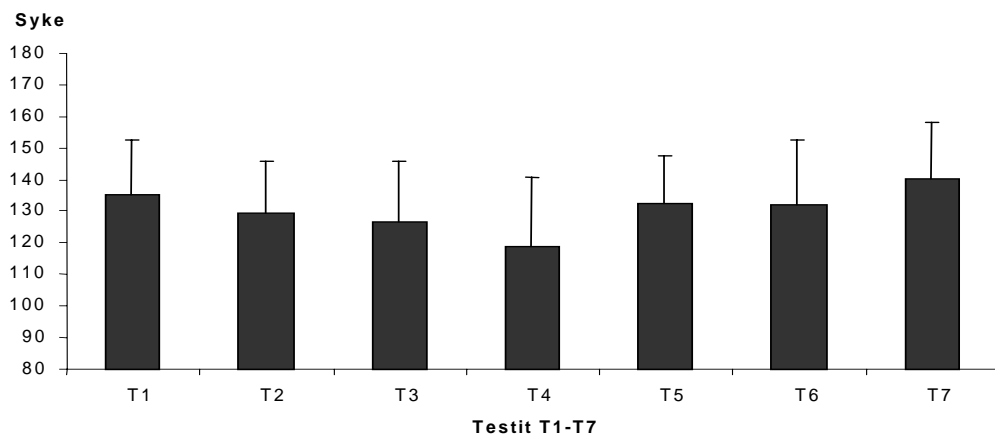


KUVA 6. Mitattujen arvojen perusteella määritetyn fatmax-pisteen absoluuttinen rasvankäyttö (g/min) energiaksi fatmax-kuormalla. (keskiarvo \pm sd)

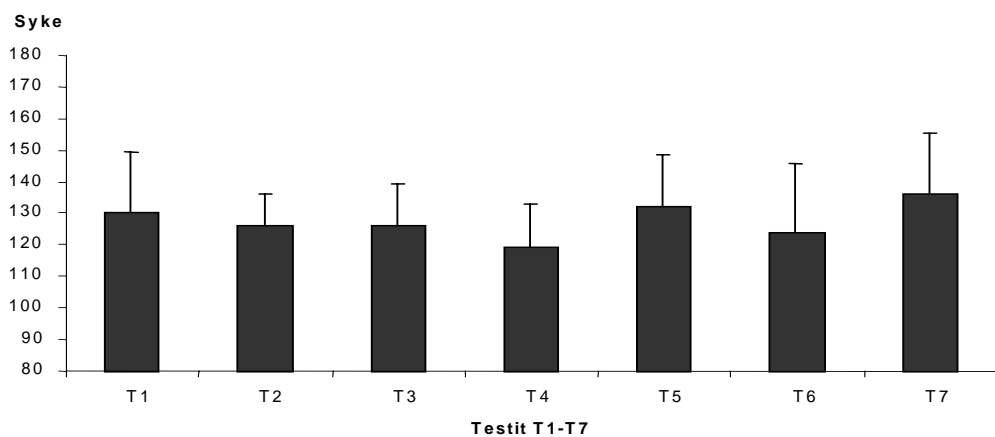


KUVA 7. Paraabelisovitteen avulla määritetyn fatmax-pisteen absoluuttinen rasvankäyttö (g/min) energiaksi fatmax-kuormalla. (keskiarvo \pm sd)

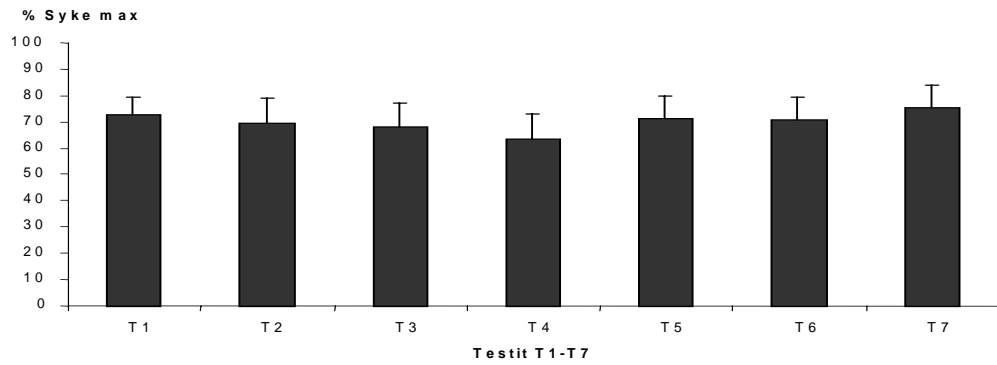
Sykemuuttujina käytettiin fatmax-kuorman sydämen sykintätaajuutta (lyöntiä/ minuutti) sekä fatmax-kuorman sykkeen prosentuaalista osuutta maksimaalisesta sykintätaajuudesta. Mittauskerrat eivät eronneet merkitsevästi toisistaan. Fatmax-piste oli pienimmällä sykkeellä testissä T4, jolloin syke fatmax-pisteessä oli $119 \pm 21,7$ (keskiarvo \pm sd) lyöntiä minuutissa mitatuista pisteistä määritettynä ja 119 ± 14 (keskiarvo \pm sd) lyöntiä minuutissa paraabelisovitteesta määritettynä. Suurimmalla sykkeellä fatmax-piste oli testissä T7. Tällöin syke fatmax-pisteessä oli $140 \pm 17,8$ (keskiarvo \pm sd) lyöntiä minuutissa mitatuista pisteistä määritettynä ja $136 \pm 19,3$ (keskiarvo \pm sd) lyöntiä minuutissa paraabelisovitteesta määritettynä. Kuvassa 8 on esitetty HR fatmax-kuormalla mitattujen arvojen perusteella ja kuvassa 9 paraabelisovitteen perusteella. Kuvassa 10 on esitetty %HRmax mitattujen arvojen perusteella ja kuvassa 11 paraabelisovitteen perusteella.



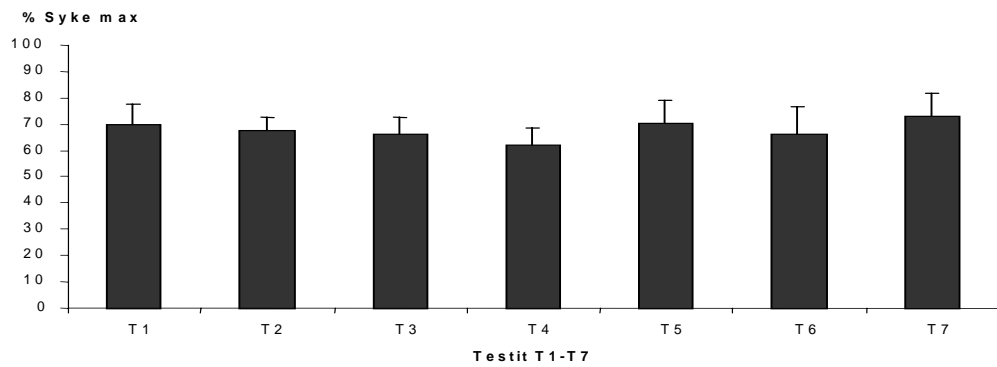
KUVA 8. Mitattujen arvojen perusteella määritetyn fatmax-pisteen sydämen sykintätaajuus fatmax-kuormalla. (keskiarvo \pm sd)



KUVA 9. Paraabelisovitteen avulla määritetyn fatmax-pisteen sydämen sykintätaajuus fatmax-kuormalla. (keskiarvo \pm sd)



KUVA 10. Mitattujen arvojen perusteella määritetyn fatmax-pisteen intensiteettitaso, joka kuvataan suhteellisena osuutena HR_{max} - arvosta. (keskiarvo \pm sd)



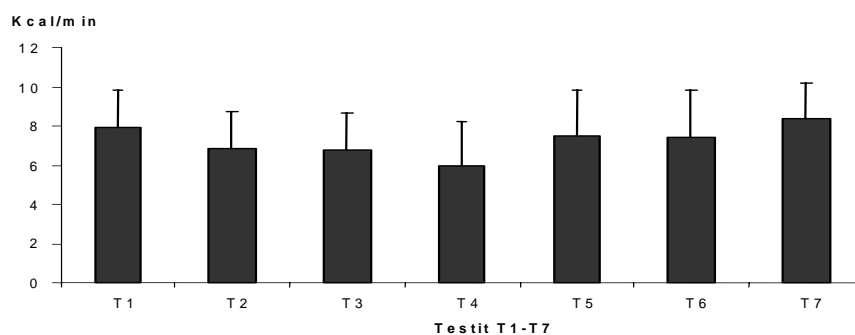
KUVA 11. Paraabelisovitteen avulla määritetyn fatmax-pisteen intensiteettitaso, joka kuvataan suhteellisena osuutena HR_{max} - arvosta. (keskiarvo \pm sd)

Taulukossa 4. on esitetty sykevälimuuttujien keskiarvot ja –hajonnat ($ka \pm sd$) testeissä T1-T7. Tilastollisten analyysien perusteella todettiin, ettei muuttujien välillä ole merkittävää eroa testien välillä.

TAULUKKO 4. Sykevälimuuttujat fatmax-kuormalla testeissä T1-T7 (keskiarvo \pm sd)

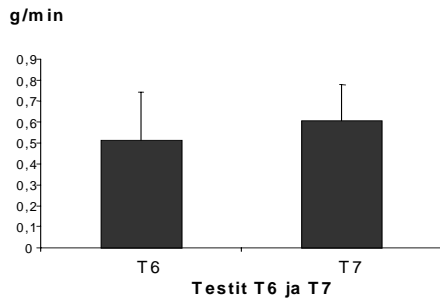
	RMSSD (ms)	LF-teho (ms ²)	HF-teho (ms ²)	LF/HF-suhde (%)	Keskihajonta (ms)
T1	4,2 \pm 2,7	8,7 \pm 8,3	3,9 \pm 4,3	286,5 \pm 170,8	10,2 \pm 7,0
T2	4,9 \pm 2,0	20,2 \pm 22,7	8,2 \pm 10,7	347,8 \pm 235,3	8,4 \pm 4,1
T3	5,2 \pm 2,9	30,8 \pm 34,5	7,7 \pm 10,0	508,5 \pm 304,9	9,3 \pm 4,4
T4	6,7 \pm 3,8	37,4 \pm 33,3	20,3 \pm 39,4	369,8 \pm 318,3	12,3 \pm 6,9
T5	3,8 \pm 1,7	15,4 \pm 16,7	4,9 \pm 10,0	497,1 \pm 449,0	7,6 \pm 3,6
T6	5,4 \pm 5,5	22,1 \pm 38,9	5,7 \pm 6,7	486,3 \pm 364,9	9,8 \pm 9,3
T7	4,4 \pm 3,2	54,6 \pm 147,1	9,8 \pm 26,6	477,5 \pm 480,5	8,9 \pm 8,3

Energiankulutuksessa ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja testien välillä. Energiankulutus testeille laskettiin kaavan 6. avulla. Kuvassa 12 on esitetty energiankulutus (kcal/min) fatmax-kuormalla.

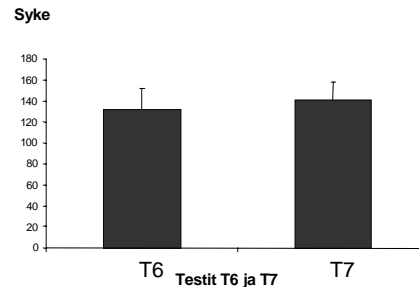


KUVA 12. Mitattujen arvojen perusteella määritetystä fatmax-pisteestä laskettu energiankulutus (kcal/min) testeissä. (keskiarvo \pm sd)

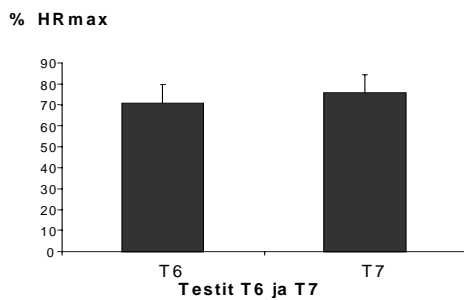
Testien (T6) ja (T7) välille tehtiin parillinen T-testi kovan harjoitusviikon vaikutuksen ilmentämiseksi. Parillisten T-testien perusteella ei löytynyt merkittäviä eroja muuttujien välille. Alla olevissa kuvissa on esitetty absoluuttinen rasvankulutus (g/min) (kuva 13), syke (lyöntiä /minuutti) (kuva 14), %HR_{max} (kuva 15), energiankulutus (kcal/min) (kuva 16) ja syke, kun SD1 < 4ms (lyöntiä/minuutissa) (kuva 17).



KUVA 13. Mitatut arvot. Absoluuttinen rasvankäyttö (g/min) ennen ja jälkeen kovan harjoitusviikon. (Keskiarvo±sd)



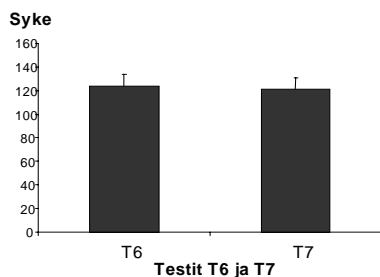
KUVA 14. Mitatut arvot. Syke (beats / min) ennen ja jälkeen kovan harjoitusviikon. (Keskiarvo±sd)



KUVA 15. Mitatut arvot %HR_{max} ennen ja jälkeen kovan harjoitusviikon. (Keskiarvo±sd)



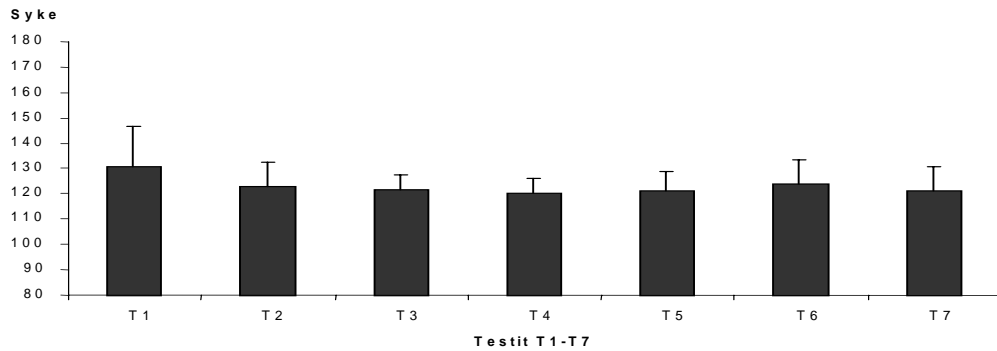
KUVA 16. Mitatut arvot. Energiankulutus (kcal/min) ennen ja jälkeen kovan harjoitusviikon. (Keskiarvo±sd)



KUVA 17. Mitatut arvot. Syke, kun SD1 < 4ms ennen ja jälkeen kovan harjoitusviikon. (Keskiarvo±sd)

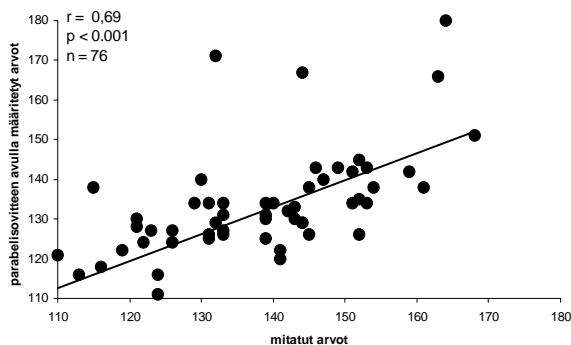
7.2 Fatmax-pisteen ennustaminen sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla

Fatmax-pistettä määritettiin sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla. Alla olevassa kuvassa 18 on esitetty sen fatmax-kuorman syke, jolla SD1 laskee pysyvästi alle 4 ms.

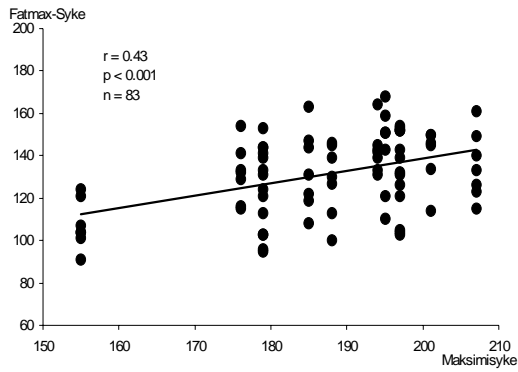


KUVA 18. Syke, jolla SD1 laskee alle 4 millisekunnin rajan. (keskiarvo \pm sd)

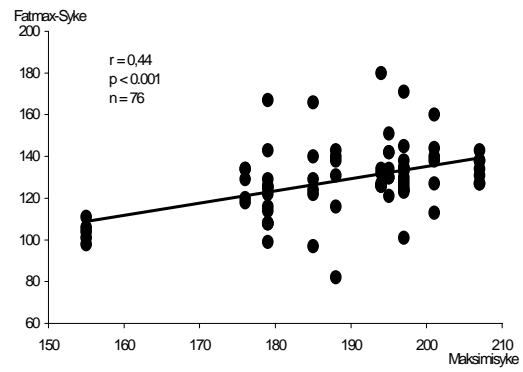
Tilastollisten testien perusteella testien T1-T7 välillä ei löydetty merkittäviä eroja muuttujien välillä. Tästä johtuen tulokset yhdistettiin samaan korrelaatiokuvaajaan. Näin ollen mitattujen arvojen perusteella piirretyissä korrelaatiokuvissa $N=83$ ja paraabelisovituksen avulla määritetyissä $N=76$. Koehenkilöjoukko on pienempi paraabelisovitteessa, koska joitakin testejä hylättiin käyrän sovittamisen mahdottomuuden takia. Kuvassa 19. on esitetty korrelaatio mitatun fatmax-kuorman sykkeen ja paraabelisovituksen avulla määritellyn fatmax-kuorman sykkeen välille. Korrelaatiokuvaajissa on esitetty korrelaatiota fatmax-kuorman sykkeen ja maksimisykkeen välille (kuvat 20 ja 21), fatmax-kuorman sykkeen ja sykereservin välille (kuvat 22 ja 23) ja fatmax-kuorman sykkeen ja sykkeen, jolla SD1 laskee pysyvästi alle 4 ms rajan välille (kuvat 24 ja 25).



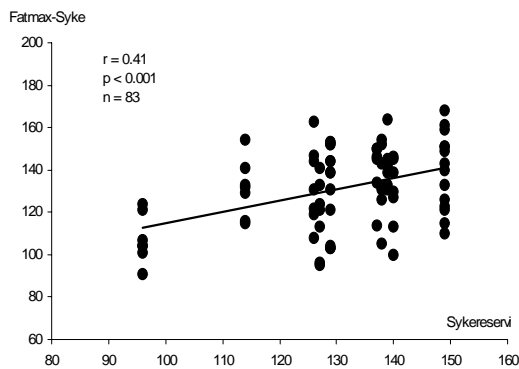
KUVA 19. Mitatun sykkeen yhteys parabelisovitteella määritettyyn sykkeeseen fatmax-kuormalla.



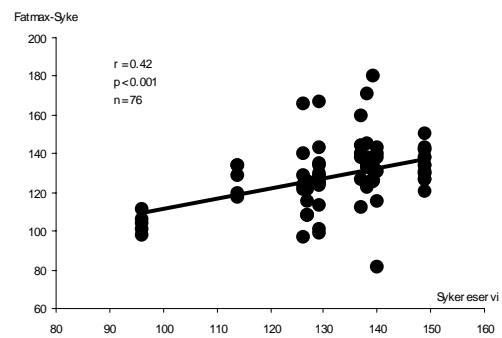
KUVA 20. Mitatut arvot. Fatmax-sykkeeseen yhteys maksimisykkeeseen.



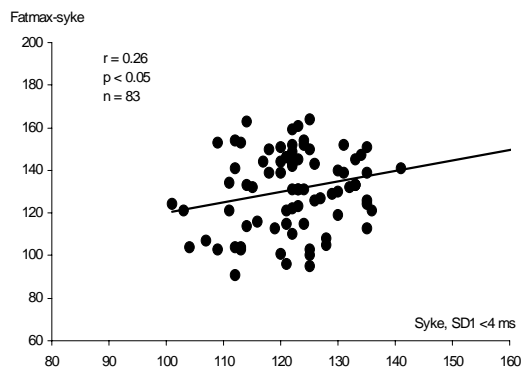
KUVA 21. Paraabelisovite. Fatmax-sykkeeseen yhteys maksimisykkeeseen.



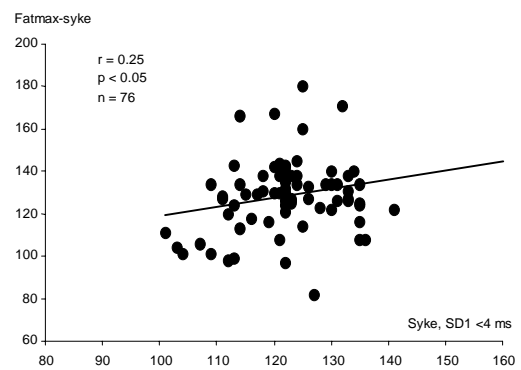
KUVA 22. Mitatut arvot. Fatmax-sykkeeseen yhteys sykereserviin.



KUVA 23. Paraabelisovite. Fatmax-sykkeeseen yhteys sykereserviin.



KUVA 24. Mitatut arvot. Fatmax-sykkeeseen yhteys sykkeeseen, jolla SD1 < 4 ms.



KUVA 25. Paraabelisovite. Fatmax-sykkeeseen yhteys sykkeeseen, jossa SD1 < 4 ms.

8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää fatmax-pisteen päivittäistä vaihtelua ja sen määrittämistä sykkeen ja sykevälivaihtelumuuttujien perusteella. Vastauksina ongelmiin saatiin: 1) tilastollisin menetelmin ei saatu tukea sille, että fatmax-piste vaihtelee päivittäin ja 2) muuttujien HR, HR_{max} ja SD1 avulla ei yksin onnistuttu määrittämään fatmax-pistettä riittävän luotettavasti tämän tutkimuksen menetelmin. Tämä tutkimus kuitenkin antoi hyvän pohjan asian jatkokehittämiselle. Tarkan arvion saamiseksi tulevaisuudessa voitaisiin käyttää neuroverkkotekniikkaa sekä optimoida SD1 arvoa 4 ms arvosta matemaattista laskentaa hyväksi käyttäen. Lisäksi tässä tutkimuksessa tutkittiin kahta menetelmää fatmax-pisteen määrittämiseksi: mitatut pisteet ja paraabelisovite. Määrittystavoista paremmaksi todettiin paraabelisovite, koska sen avulla voidaan interpoloida pisteitä kuormien väliltä ja ehkäistä mittavirheitä.

8.1 Päivittäinen vaihtelu fatmax-pisteen muuttujissa

Hypoteesin mukaan päivittäistä vaihtelua esiintyy muuttujissa liittyen ravitsemus-, stressi- ja unitilaan. Fatmax-pisteen päivittäisen vaihtelun tutkimisella haluttiin saada tietoa vaihtelusta yksillöllä eri päivinä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ilmennyt tilastollisesti merkittäviä eroja muuttujissa eri testien (T1-T7) välillä. Testejä oli yhdellä henkilöllä riittävän paljon päivittäisen vaihtelun tutkimiseksi. Lisäksi viimeinen testi suoritettiin kovan harjoitusviikon jälkeen, jolloin testattiin fatmax-pisteen paikkaa rasittuneessa fyysisessä tilassa. Toisaalta koehenkilömäärän ollessa suurempi ilmiö olisi voinut tulla paremmin esille. Päivittäistä vaihtelua kuitenkin ilmeni henkilöillä. Ryhmän keskiarvotulos vaihteli testeittäin 119 ± 22 (T4) ja 140 ± 18 (T7). Näin ollen koehenkilöiden välinen keskimääräinen syke vaihteli testien T1-T7 välillä 21 sykettä minuutissa (15% sykereservistä) mitattujen arvojen perusteella arvioitaessa. Paraabelisovitteen avulla määritetyssä fatmax-pisteen sykkeellä oli eroa hieman vähemmän: 119 ± 14 (T4) ja 136 ± 19 (T7). Paraabelisovitteen avulla määritetty fatmax-pisteen syke vaihteli siis 17 sykettä minuutissa (13 % sykereservistä). Näin ollen olisi

perusteltua kehittää menetelmää, jossa fatmax-piste voitaisiin määrittää ilman hengityskaasuanalysointia.

Testien T1-T7 tulosten keskiarvostettu syke fatmax-pisteessä oli $130 \pm 10,3$ sykettä/minuutissa mitattujen arvojen perusteella määritettäessä ja $127 \pm 10,1$ sykettä/minuutissa paraabelisovitteen avulla määritettäessä. Prosentuaalinen osuus HR_{\max} -arvosta (mitatut $70 \pm 3,4$ % ja paraabeli $68 \pm 3,1$ %) poikkesi joistakin aikaisemmin saaduista tuloksista. Venables ym. (2005) saivat suuren otannan tutkimuksessa (N=300) fatmax-pisteen sykkeeksi 61.5 ± 0.6 %. Heidän tutkimuksessaan koehenkilöjoukko koostui fyysiseltä kunnoltaan eri tasoista miehistä ja naisista. Tässä tutkimuksessa koehenkilöt olivat kestävyysharjoittelijoita naisia. Knehtle ym. (2006a) havaitsivatkin, että naisilla fatmax-piste löytyy suuremmilla sykkeillä kuin miehillä. Lisäksi tutkimustulosten perusteella kestävyysharjoittelijoilla lipolyysiä stimuloivan lipoproteiinin aktiivisuus on parempi (Hawley ym. 1998) sekä rasvan hapettaminen energiaksi on tehokkaampaa keskiraskaalla ja raskaalla kuormituksella (Stisen ym. 2006). Näiden tietojen perusteella saavutettu tulos ei ole ristiriidassa aikaisempien tutkimusten kanssa.

8.2 Fatmax-pisteen ennustaminen sykkeen ja sykevälivaihtelun avulla

Fatmax-pisteen ennustamiseksi sykevälivaihtelun avulla tutkittiin sykettä, jonka jälkeen sykevälimuuttuja SD1 menee ensimmäisen kerran pysyvästi alle 4 ms. Tämä syke oli pienin neljännessä testissä (T4) $120 \pm 6,0$ sykettä/minuutissa ja suurin ensimmäisessä testissä (T1) $131 \pm 15,8$ sykettä/minuutissa. Keskimääräisesti SD1 laskee pysyvästi alle 4 ms sykkeen ollessa $123 \pm 6,8$ sykettä/minuutissa. Toisaalta hengityskaasumittausten perusteella määritetty fatmax-syke oli keskimääräisesti $130 \pm 10,3$ sykettä/minuutissa. Keskiarvostetut tulokset eroavat toisistaan vain 7 sykettä. Toisaalta haettaessa korrelaatiota tulosten välille (ks. kuva 23) saadaan korrelaatioksi $r = 0,26$ ($p < 0,05$). Näin ollen yksin tässä tutkimuksessa käytettävällä sykevaihtelumenetelmällä ei saada kovinkaan luotettavaa arviota fatmax-pisteelle. Jatkossa SD1 arvoa voitaisiinkin matemaattisesti optimoida sopivalle tasolle. Tämän tutkimuksen perusteella arvo olisi voinut olla pienempi kuin 4 ms.

Tässä tutkimuksessa löydettiin merkittävä korrelaatio maksimisykkeen ja fatmax-pisteen välille ja toisaalta sykereservin ja fatmax-sykkeen välille. Korrelaatio maksimisykkeen ja fatmax-sykkeen välillä on 0,43 ($p < 0,001$) mitattujen arvojen perusteella ja 0,44 ($p < 0,001$) paraabelisovitteen avulla määritetyistä arvoista. Korrelaatio sykereservin ja fatmax-sykkeen välillä oli 0,41 ($p < 0,001$) mitatuissa arvoissa ja 0,42 ($p < 0,001$) paraabelin avulla määritetyissä arvoissa. Nämä korrelaatiot ovatkin hyvin loogisia, koska korkeamman maksimisykkeen omaava henkilö omaa myös korkeamman fatmax-kuorman sykkeen.

Näin ollen tämän tutkimuksen perusteella sykevälivaihtelu ei yksin anna tarkkaa arviota fatmax-sykkeestä, mutta sitä mahdollisesti voitaisiin käyttää antamaan lisätarkkuutta määritettäessä fatmax-intensiteettiä ilman hengityskaasuanalysaattoria. Jos määrittelyyn otettaisiin lisäksi huomioon henkilön maksimisyke, sykereservi ja sydämen sykintätaajuus, voitaisiin arviota tarkentaa. Lisää tutkimusta tarvitaankin menetelmän kehittämiseksi. Matemaattisesti voitaisiin optimoida parempi SD1-arvo fatmax-sykkeen määrittämiseksi. Ehkä 4 ms arvo on liian korkea. Lisäksi matemaattisesti voitaisiin kehittää sopiva menetelmä, jolla maksimisykkeen, sykereservin ja sykevälivaihtelun avulla saataisiin arvioitua fatmax-piste tarkemmin. Kehitystyössä voitaisiin hyödyntää esim. neuroverkkotekniikkaa.

8.3 Kovan harjoitusviikon vaikutus muuttujiin

Kovan harjoitusviikon oletettiin lisäävän rasvankäyttöä energianlähteeksi, koska lihasten glykogeenivarastot eivät ehdi palautua normaaleiksi harjoitusten välillä. Absoluuttinen rasvankäyttö, syke, %HR_{max}- arvo sekä energiankulutus olivat keskiarvotulokseltaan suuremmat kovan harjoitusviikon jälkeen tehdyssä testissä. Lisäksi sykemuuttujat olivat kaikista testeistä suurimmat kovan harjoitusviikon jälkeen mitatussa testissä ja absoluuttinen rasvan käyttö energiaksi oli toiseksi suurinta kovan harjoitusviikon jälkeen. Tulosten välillä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittäviä eroja. Jatkossa voitaisiinkin tutkia pidemmän kovan harjoitusjakson vaikutusta fatmax-pisteeseen isommalla otannalla tai ottaa koehenkilöiksi vähemmän liikuntaa harrastavia henkilöitä. Lisäksi voitaisiin suorittaa tutkimus miehillä.

Sykevälivaihtelumuuttujissa testikertojen välillä ei ollut tilastollisesti merkittäviä eroja. Tulos on sama kuin Hedelin ym. (2000) tutkimuksessa ylirasitustilan vaikutuksesta sykevälimuuttujiin. Heidänkään tutkimuksessa kovalla harjoitusviikolla ei ollut vaikutusta sykevälimuuttujiin.

8.4 Mitatut arvot vs. paraabelisovite

Mittauspisteet noudattivat pääsääntöisesti hyvin alaspäin aukeavan paraabelin muotoa. Paraabeli voitiin sovittaa 76:een tapauksessa 83:sta. Paraabeli tutkimustapana on hyvä, sillä se mahdollistaa mittauspisteiden välisten arvojen määrittämisen (interpolaatio). Toisaalta mitattujen arvojen perusteella voidaan fatmax-piste määrittää kaikissa tapauksissa. Lisäksi mitatut pisteet ovat tarkempi määrittystapa, jos tulosten tulkitsija ei osaa tarkastella käyriä kriittisesti. Paraabelisovitteessa on aina olettamuksena, että mittapisteet noudattavat paraabelin muotoa. Joissakin tapauksissa käyrän sovittaminen epäonnistuu ja tulos on hylättävä. Toisaalta tällaisissa tapauksissa pitäisi kuitenkin epäillä mittarin toimintavarmuutta ja tulokset tulisi kyseenalaistaa muutenkin.

Määrittelytapojen välillä ei tullut suuria eroja muuttujille tämän tutkimuksen perusteella arvioitaessa fatmax-pisteen sykkeiden keskiarvoja. Keskiarvot määrittelytapojen välillä poikkeavat 5 sykäystä, sillä mitattujen arvojen keskiarvo HR on 133 ja paraabelisovituksen avulla saatu keskiarvo HR on 128. Sykemuuttujissa on kuitenkin vähemmän hajontaa paraabelisovitteen avulla määritetyissä tuloksissa. Tutkimuksia vertailtaessa olisi kuitenkin huomioitava fatmax-pisteen määrittämistapa. Muutoin tulkinnat saattavat olla virheellisiä. Toisaalta määrittelytapojen välisiä eroja voidaan myös arvioida yksittäisistä mittauksista, jolloin mittapisteitä tässä aineistossa on 76. Mitattujen arvojen ja paraabelisovitteen avulla määritettyjen arvojen välinen korrelaatio on 0,69 ($p < 0,001$). Suurempi arvo mitatulla fatmax-pisteellä tuli 47 tapauksessa ja paraabelin avulla määritetyssä 29 tapauksessa. Aineiston perusteella tämä voisi johtua mittarin epätarkkuudesta. Ongelma olisi eliminoitavissa sillä, että mittapisteiksi määritettäisiin minuutin keskiarvon asemesta minuutin mediaani. Keskiarvoon otetaan huomioon kaikki luvut ja yksi virheellinen suuri/pieni luku voi vääristää keskiarvoa. Mediaaniksi taas hyväksyttäisiin luku, jossa puolet jakson luvuista olisi suurempia ja

puolet pienempiä. Näin ollen yksittäinen virhe ei vaikuttaisi tulokseen vääristävästi. Näin ollen jatkossa käytettäessä mittavirheille herkkää hengityskaasuanalysointia määritys tulisi tehdä paraabelisovitteen avulla ja mittapisteet tulisi määrittää minuutin mediaanin perusteella.

8.5 Koeasetelma ja mittausjärjestelyt

Koeasetelma oli riittävän tarkka päivittäisen vaihtelun selvittämiseksi. Jokaiselle koehenkilölle suoritettiin seitsemän mittausta hengityskaasuanalysointilla. Jatkossa laktaattinäytteet voitaisiin ottaa jokaisen kuorman lopuksi. Näin ollen saataisiin lisätutkimusta Achten ja Jeukendrup (2004) tulokseen, jossa fatmax-piste ja veren laktaattikonsentraation nousu perustasosta ensimmäisen kerran löytyivät samalla kuormalla. Ehkä määritettäessä fatmax-pistettä ilman hengityskaasuanalysointia voitaisiin käyttää laktaattimittausta hyväksi. Koehenkilöjoukko rajattiin hyväkuntoisiin naisiin, jotta saatiin eliminoitua sukupuolen ja harjoitustilan väliset erot yksilöiden välillä verrattaessa henkilöitä toisiinsa. Jatkossa ilmiötä voisi tutkia miehillä, jolloin myös saataisiin enemmän tietoa sukupuolten välisistä eroista. Lisäksi kova harjoitusjakso voisi olla kestoaltaan pidempi. Koeasetelman laajuuden (96 mittausta hengityskaasuanalysointilla) ja kovan harjoitusviikon toteuttamisen takia valittaviin mittalaitteisiin tulisi kiinnittää huomiota. Niiden toimintavarmuus pitäisi olla ensiluokkaista ja saman valmistajan saman mallin varalaite tulisi olla aina saatavana.

8.6 Yhteenveto

Tutkimuksen avulla edistettiin menetelmää fatmax-pisteen arvioimiseksi ilman hengityskaasuanalysointia. Tämän tutkimuksen mukaan sykemuuttujat HR, %HR_{max} ja SD1 auttavat fatmax-pisteen määrittämistä. Näiden avulla pelkästään ei kuitenkaan voida helposti laskea fatmax-pistettä, mutta käytettäessä apuna neurooverkkotekniikkaa arviointimenetelmä saisi lisää tarkkuutta. Lisäksi tässä tutkimuksessa tutkittiin fatmax-pisteen määrittämistä kahdella eri menetelmällä. Tulosten perusteella mitattaessa hengityskaasuanalysointilla paraabelisovite on parempi tapa määrittää fatmax-piste. Tämä johtuu hengityskaasuanalysointien arkuudesta virheille. Paraabelisovitteen avulla

saadaan eliminoitua paremmin yksittäisen mittavirheen vaikutus lopputulokseen. Mittapisteet tulisi määrittää kuitenkin minuutin mediaanin perusteella keskiarvon asemesta.

Loppusanat: Kiitän tutkimuksen yhteistyötahoja: Hannu Kinnunen & Juuso Nissilä, Polar Electro Oy ja Liikuntakeskus Hukka (Oulu) henkilökunta.

9 LÄHTEET

- Achten, J., Gleeson, M. & Jeukendrup, A.E. 2002. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Medicine and Science in Sports & Exercise* 34(1), 92-97
- Achten, J., & Jeukendrup, A.E. 2003a. The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation. *Journal of Sports Sciences*. 21 (12), 1017-1024
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003b. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *International Journal of Sports Medicine*. 24(8), 603-608
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2003c. Heart rate monitoring. Applications and limitations. Review. *Sports & Medicine*. 33(7), 517-538
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2004. Relation between lactate concentration and fat oxidation rates over a wide range of exercise intensities. *International Journal of Sports and Exercises*. 25(1), 33-37
- Astorino, T.A. 2000. Is the ventilatory threshold coincident with maximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *Journal of sports Medicine and Physical Fitness*. 40(3), 209-216
- Aubert, A, E., Seps, B. & Beckers, F. 2003. Heart rate variability in athletes. Review. *Sports & Medicine*. 33(12), 889-919
- Bennard, P. & Doucet, É. Acute effects of exercise timing and breakfast meal glycemic index on exercise-induced fat oxidation. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 31(5), 502-511
- Bircher, S., Knechtle, B., Muller, G. & Knecht, H. 2005. Is the highest fat oxidation rate coincident with the anaerobic threshold in obese women and men? *European Journal of Sport Science* 5(2), 79-87
- Boyadjiev, N., 2004. Adaptation to submaximal physical training. Review. *Kinesiology* 36 (2), 154-164
- Class, S.T. 1999. The effect of mode of exercise on fat oxidation during exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 29-34
- Cooper, G.M., 2000. *The Cell: a molecular approach*. 2. painos. Washington and Sinauer Associates. Washington., 44-45

- Cosmed, (1996) K4 User manual 2(1). COSMED Srl – Italy, Part N. Coo535-02-91
- Cotting, F., Medique, C., Lopes, P., Leprêtre, P.-M., Heubert, R. & Billat, V. 2006. Ventilatory thresholds assessment from heart rate variability during an incremental exhaustive running test. *International Journal of Sport&Medicine*. 27(12), 959-967
- Coyle, E.F., Jeukendrup, A.E., Wagenmakers, A.J.M. & Saris, W.H.M. 1997. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *American journal of physiology* 273(2) E268-E275
- Frayn, K.N. 1983. Calculations of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of applied Physiology*. 55(2), 628-634
- Hawley, J.A., Brouns F. & Jeukendrup, A. 1998. Strategies enhance fat utilisation during exercise. *Sports and medicine* 25(4), 241-257
- Hedelin, R., Kenttä, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henrikson-Larsén, K. 2000. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Medicine & Science in sports & exercise*. 32(8), 1480-1484
- Jacobson, T.L., Febbraio, M.A., Arkinstall M.J. & Hawley, A. 2001. Effect of caffeine coingested with carbohydrate or fat on metabolism and performance in endurance-trained men. *Experimental Physiology*. 86(1) p137-142
- Jeukendrup, A.E., 1997. Aspects of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Mastridin Yliopisto. Väitöskirja*.
- Jeukendrup, A.E., Saris W.H.M. & Wagenmakers A.J.M. 1998. Fat metabolism during exercise: a review. Part I: Fat mobilization and muscle metabolism. *International Journal of Sports and Medicine* 19, 231-244
- Jeukendrup, A.E., Saris W.H.M. & Wagenmakers A.J.M. 1998. Fat metabolism during exercise: a review. Part II: regulation of metabolism and the effects of training. *International Journal of Sports and Medicine*. 19, 293-302
- Jeukendrup, A.E., Saris W.H.M. & Wagenmakers A.J.M. 1998. Fat metabolism during exercise: a review. Part III: Fat mobilization and muscle metabolism. Effects of nutritional interventions. *International Journal of Sports and Medicine*. 19, 371-79
- Jeukendrup, A.E. & Achten, J. 2001. Fatmax: A new concept to optimize fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science*, 1(5), 1-5.
- Jeukendrup, A.E. & Achten, J. 2004. Sport nutrition: An introduction to energy production and performance. Champaign, IL, *Human Kinetics* (35-38 ; 45-46)

- Jeukendrup, A.E. & Wallis, G.A. 2005. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *International Journal of Sport Medicine*, 26(4), 28-37.
- Knechtle, B., Müller, G., Willmann, F., Kotteck, K., Eser, P. & Knecht, H. 2004. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *International Journal of Sports and Medicine*. 2004. 25(1), 38-44
- Knechtle, B., Müller, G. & Knecht, H. 2004. Optimal exercise intensities for fat metabolism in handbike cycling and cycling. *Spinal Cord*. 42(10), 584-572
- Laitio, T., Scheinin, H., Kuusela, T., Mäenpää, M & Jalonen, J. 2001. Mistä sydämen sykevälivaihtelu kertoo? *Finnanest* 34(3), 249-255
- Liite Ry. 1999. Kuntotestauksen perusteet. *Liikuntalääketieteen ja testaustoiminnan edistämisyhdistys*. s.51
- Lehninger, A.L., Nelson, D.L. & Cox, M. C. 1993. *Principles of Biochemistry*. 2. painos. Worth Publishers, Inc, New York., 240-254
- Lusk, G. 1924. Animal calorimetry: analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrates and fat. *Journal of Biological Chemistry* 59, 41-42
- McArdle, W.D., Katch, F. & Katch, V. 2001. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. 5. painos. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia., 18-29
- Meyer, T., Gäßler, N. & Kindermann, W. 2007. Determination of "Fat_{max}" with 1 h cycling protocols of constant load. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*. 32(2), 249-256
- Montoye, H.J., Kemper, H.C.G, Saris, W.H.M & Washburn, R.A. 1996. Measuring physical activity and energy expenditure. 1.painos. *Human kinetics*. Champaign. 1996. (8-9)
- Pasman, W.J., Van Baak, M. A., Jeukendrup, A. E. & De Haan, A. 1995. The Effect of Different Dosages of Caffeine on Endurance Performance Time. 16(4) 225-230
- Peronnet, F., Massicotte, D. 1991. Table of Nonprotein Respiratory Quotient: An Update. *Canadian Journal of Sport Science*. 16(1), 23-29
- Stisen, A.B., Stougaard.O., Langfort.J., Helge.J.W., Sahlin. K. & Madsen, K .2006. Maximal fat oxidation rates in endurance trained and untrained women. *European journal of applied physiology* 98(5), 497-506
- Shvartz, E. & Reibold, R.C. 1990. Aerobic fitness norms for males and females aged 6 to 75 years: review. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 61(1), 3-11

- Tulppo, M. 1998. Heart rate dynamics during physical exercise and during pharmacological modulation of autonomic tone. Oulun Yliopisto. Väitöskirja.
- Turpeinen, J.-P., Leppävuori, J., Heinonen, O.J., Kaila, K., Salo, J., Lilja, M. & Kesäniemi, Y.A. 2006. Muscle fiber type I influences lipid oxidation during low-intensity exercise in moderately active middle-aged men. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 16(2), 134-140
- Venables M.C., Achten, J. & Jeukendrup, A.E. 2005. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *Journal of applied physiology* 98. 160–167
- Wilmore, Jack.H. & Costil, D.L. 1994. *Physiology of sport and exercise*. 1.painos. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia. s. 34-36.
- Kuopion yliopisto. www.uku.fi/tyosuojelu/PPT/Tyokuormitusluento_9-06_sari.ppt
hakupäivä: 18.8.2007.

LIITE 1

Table of Nonprotein Respiratory Quotient: An Update (Peronnet & Massicotte 1991.).

Analysis of the Oxidation of Mixtures of Carbohydrate and Fat						
R.Q.	Percentage of total oxygen consumed by:		Percentage of total heat produced by:		Calories per liter O ₂ .	
	Carbo- hydrate (1)	Fat (2)	Carbo- hydrate (3)	Fat (4)	Number (5)	Logarithm. (6)
0.707	0	100.0	0	100.0	4.686	0.67080
0.71	1.02	99.0	1.10	98.9	4.690	0.67114
0.72	4.44	95.6	4.76	95.2	4.702	0.67228
0.73	7.85	92.2	8.40	91.6	4.714	0.67342
0.74	11.3	88.7	12.0	88.0	4.727	0.67456
0.75	14.7	85.3	15.6	84.4	4.739	0.67569
0.76	18.1	81.9	19.2	80.8	4.751	0.67682
0.77	21.5	78.5	22.8	77.2	4.764	0.67794
0.78	24.9	75.1	26.3	73.7	4.776	0.67906
0.79	28.3	71.7	29.9	70.1	4.788	0.68018
0.80	31.7	68.3	33.4	66.6	4.801	0.68129
0.81	35.2	64.8	36.9	63.1	4.813	0.68241
0.82	38.6	61.4	40.3	59.7	4.825	0.68352
0.83	42.0	58.0	43.8	56.2	4.838	0.68463
0.84	45.4	54.6	47.2	52.8	4.850	0.68573
0.85	48.8	51.2	50.7	49.3	4.862	0.68683
0.86	52.2	47.8	54.1	45.9	4.875	0.68793
0.87	55.6	44.4	57.5	42.5	4.887	0.68903
0.88	59.0	41.0	60.8	39.2	4.899	0.69012
0.89	62.5	37.5	64.2	35.8	4.911	0.69121
0.90	65.9	34.1	67.5	32.5	4.924	0.69230
0.91	69.3	30.7	70.8	29.2	4.936	0.69339
0.92	72.7	27.3	74.1	25.9	4.948	0.69447
0.93	76.1	23.9	77.4	22.6	4.961	0.69555
0.94	79.5	20.5	80.7	19.3	4.973	0.69663
0.95	82.9	17.1	84.0	16.0	4.985	0.69770
0.96	86.3	13.7	87.2	12.8	4.998	0.69877
0.97	89.8	10.2	90.4	9.58	5.010	0.69984
0.98	93.2	6.83	93.6	6.37	5.022	0.70091
0.99	96.6	3.41	96.8	3.18	5.035	0.70197
1.00	100.0	0	100.0	0	5.047	0.70303

LIITE 2

Koehenkilön esitieto- ja suostumuslomake

Nimi					
					Vastaathan tässä lomakkeessa esitettyihin kysymyksiin tarkasti ja totuudenmukaisesti. Antamiasi tietoja käsitellään ehdottoman luottamuksellisesti henkilötietolain (523/1999) mukaisesti.
Henkilötunnus					
					Sinut on vakuutettu testien aikana. Vakuutusyhtiötä varten tarvitsemme henkilötunnuksesi.
Pituus		Paino			
	cm		kg		Allekirjoita lomake sivulle kolme. Kiinnitä erityistä huomiota allekirjoituskohdan yhteydessä olevaan suostumustekstiin.
					Kiitos!
Fyysisen aktiivisuuden arvio					
Ympyröi yksi numero (0-7), joka parhaiten kuvaa yleistä aktiivisuuden tasoasi edellisen kk:n aikana.					
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 mahdollista.				
1	Kävelen hovin 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, kuntosaliharjoittelu tai puutarhatyöt.					
2	10-60 minuuttia viikossa.				
3	Yli tunnin viikossa.				
Harrastan säännöllisesti raskasta vapaa-ajan liikuntaa, esim. juoksua tai hölkkää, 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 minuuttia rasiukseltaan vastaavaa lajia.
5	Juoksen 2-10 km viikossa tai harrastan 30-60 minuuttia viikossa rasiukseltaan vastaavanlaista lajia.
6	Juoksen 10-15 km viikossa tai harrastan 1-3 tuntia viikossa rasiukseltaan vastaavanlaista lajia.
7	Juoksen 15 km tai enemmän viikossa tai harrastan yli 3 tuntia viikossa rasiukseltaan vastaavanlaista lajia.

Vastaa seuraaviin kysymyksiin.					
				KYLLÄ	EI
Onko lääkäri antanut Sinulle erityisiä ohjeita liikunnasta?					
Onko Sinulla rintakipuja liikunnan aikana?					
Onko Sinulla ollut rintakipuja viimeisen kk:n aikana?					
Oletko menettänyt tajuntasi tai kaatunut huimauksen takia yhden tai useamman kerran?					
Onko Sinulla luustossa tai nivelissä sellaisia ongelmia, jotka saattavat pahentua liikunnan aikana?					
Onko lääkäri koskaan määrännyt Sinulle lääkitystä verenpaineen tai sydänperäisten oireiden vuoksi?					
Onko Sinulla mitään sellaista terveydellistä ongelmaa, joka vaatisi lääkärin ohjeita liikunnasta?					
Tupakoitko tai oletko lopettanut tupakoinnin viimeisen 6 kk:n aikana?					
Onko Sinulla todettu kohonnut veren kolesterolipitoisuus?					
Onko jollain lähiomaisellasi ollut sydänveritulppa tai onko jollekin lähiomaisellesi suoritettu sepelvaltimoiden toimenpide?					

Aiempi osallistuminen fyysisen kunnon testiin	
Oletko aiemmin osallistunut kuntotestiin? Jos olet, niin missä viimeksi, mihin testiin ja millä tuloksella?	

Suostumus ja vakuutus annettujen tietojen oikeellisuudesta

Olen tutustunut huolellisesti koehenkilömateriaaliin, suoritettaviin tutkimuksiin ja mittauksiin sekä tutkittavien oikeuksiin ja vakuutusturvaan. Olen ymmärtänyt mittausten tarkoituksen ja niihin liittyvät riskit sekä hyödyt. Olen terve ja suostun vapaaehtoisesti toimimaan koehenkilönä tutkimuksessa minulle annettujen ohjeiden mukaisesti. En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena. Tiedän, että voin halutessani peruuttaa tai keskeyttää osallistumiseni tai kieltäytyä mittauksista missä vaiheessa tahansa. Tutkimustuloksiani saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. opinnäytetöihin ja julkaisuihin) sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa. Suostun mittaamaan ja tallentamaan sykkeeni kaikissa liikuntasuorituksissa tutkimusjakson aikana. Lisäksi suostun suorittamaan yhden kovan treeniviikon 5. - 12.3. välisenä aikana.

Paikka ja aika	___/___/2007
Allekirjoitus	

Mittausprotokolla tutkimuksen aikana:

- (1) Maksimaalinen hapenottokyvyn testaaminen
- (2) Viisi tallennusta oman lajin parissa
- (3) Kovan treeniviikon jälkeinen maksimaalinen hapenottokyvyn testaaminen

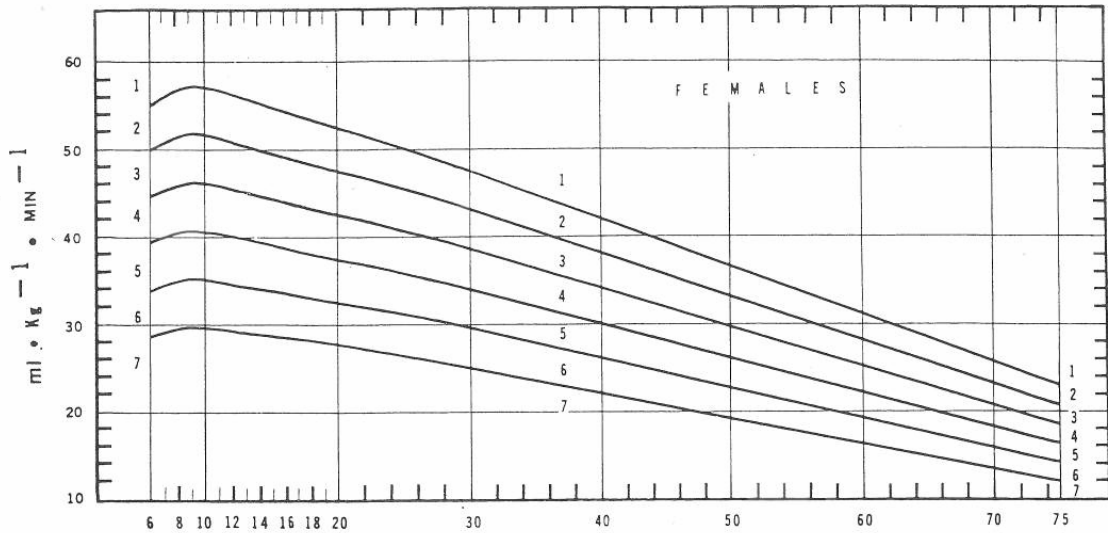
Kova treeniviikko sisältää esimerkiksi:

Koehenkilö N.N harjoittelee normaalisti tunnin tai alle teholla, joka on yli 80% maksimisykkeestä. Kovalla harjoitusviikolla koehenkilö N.N treenaa yli 2 tuntia teholla, joka on yli 80% maksimisykkeestä. Matalatehoisempi harjoittelu pidetään tavanomaisella tasolla.

LIITE 3

Kuntoluokkien määräytyminen (Shvartz & Reibold, 1990)

AEROBIC FITNESS NORMS—SHVARTZ & REIBOLD

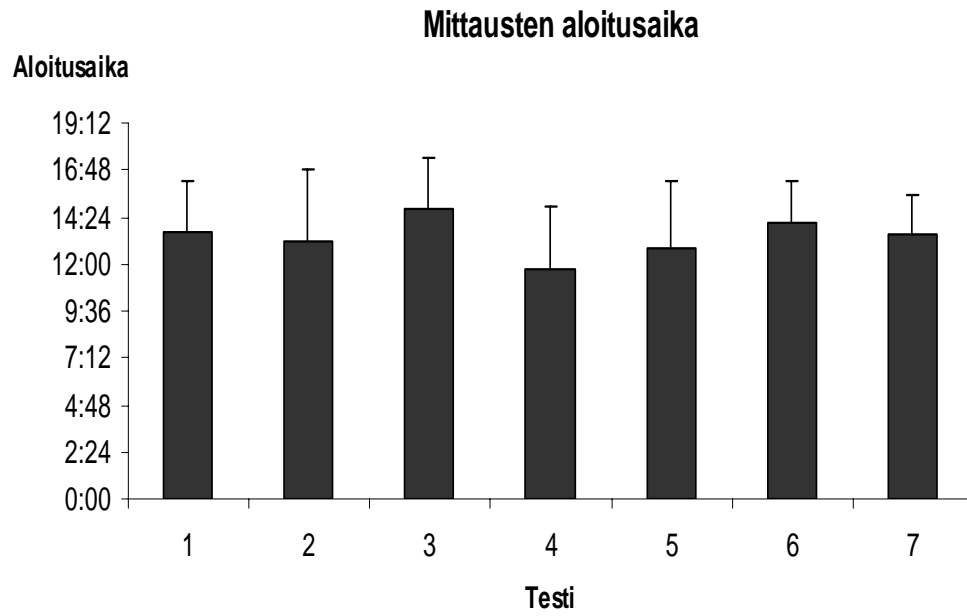


Kuntoluokkien määräytyminen (Kuntotestauksen käsikirja 1998) Taulukkoon arvot ovat laskettu Shvartz & Reibold 1990 saadun aineiston perusteella.

NAISET / MAKSIMAALINEN HAPENOTTOKYKY (VO_{2max} , ml x kg⁻¹ x min⁻¹)

IKÄ	1	2	3	4	5	6	7
12 - 13	< 29	29 - 34	35 - 39	40 - 45	46 - 50	51 - 55	> 55
14 - 15	< 29	29 - 33	34 - 39	40 - 44	45 - 49	50 - 54	> 54
16 - 17	< 28	28 - 33	34 - 38	39 - 43	44 - 48	49 - 53	> 53
18 - 19	< 28	28 - 32	33 - 37	38 - 42	43 - 47	48 - 52	> 52
20 - 24	< 27	27 - 31	32 - 36	37 - 41	42 - 46	47 - 51	> 51
25 - 29	< 26	26 - 30	31 - 35	36 - 40	41 - 44	45 - 49	> 49
30 - 34	< 25	25 - 29	30 - 33	34 - 37	38 - 42	43 - 46	> 46
35 - 39	< 24	24 - 27	28 - 31	32 - 35	36 - 40	41 - 44	> 44
40 - 44	< 22	22 - 25	26 - 29	30 - 33	34 - 37	38 - 41	> 41
45 - 49	< 21	21 - 23	24 - 27	28 - 31	32 - 35	36 - 38	> 38
50 - 54	< 19	19 - 22	23 - 25	26 - 29	30 - 32	33 - 36	> 36
55 - 59	< 18	18 - 20	21 - 23	24 - 27	28 - 30	31 - 33	> 33
60 - 64	< 16	16 - 18	19 - 21	22 - 24	25 - 27	28 - 30	> 30
65 - 69	< 15	15 - 17	18 - 19	20 - 22	23 - 25	26 - 28	> 28
70 - 74	< 13	13 - 15	16 - 17	18 - 20	21 - 22	23 - 25	> 25
75 - 79	< 12	12 - 13	14 - 15	16 - 17	18 - 20	21 - 22	> 22

LIITE 4



Mittausten aloitusaikojen vaihteluväli:

07.00-18.15

T1	13,35	±	2,36
T2	13,10	±	3,38
T3	14,51	±	2,36
T4	11,46	±	3,07
T5	12,49	±	3,23
T6	14,05	±	2,06
T7	13,28	±	2,03