

**BALLISTOKARDIOGRAFIAN SOVELTUVUUS KESTÄ-
VYYSKUNNON ARVIOINTIIN**

Leena Rusanen

Pro-Gradu -tutkielma

Kevät 2009

Liikuntabiologian laitos, Vuotech

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja: Minna Tanskanen

TIIVISTELMÄ

Rusanen, Leena 2009. Ballistokardiografian soveltuvuus kestävyyskunnan arviointiin. Liikuntabiologian laitos, Vuotech, Jyväskylän yliopisto. Biomekaniikan pro gradu –tutkielma, 63 s.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia ballistokardiografian (BKG) soveltuvuutta sydän- ja verenkiertoelimistön kunnan arviointiin kertaluontoisena mittauksena ja kuntoilun seurauksena tapahtuvien muutosten seurannassa. Lisäksi pyrittiin selvittämään ovatko tutkimuksessa analysoidut muuttujat (IJ-amplitudi, IJ-teho ja taajuusspektrin painopiste (MPf)) kuntotason määrittämisen kannalta oleellisia ja samalla löytää käytetyn tuolimallisen mittausteistön keskeisimmät kehityskohteet.

Tutkimuksen koehenkilöinä toimi Kuntokatsastusasema-hankkeen pilottiryhmä (N=108, keski-ikä 53,4±13,9 vuotta), joka jaettiin työikäisiin (alle 60-vuotiaat, N=67) ja senioreihin (N=41). Ryhmässä oli enemmän naisia (61%) kuin miehiä (39%). BKG-seuranta toteutettiin hankkeen Kuntokatsastusten yhteydessä voimalevyanturi-teknologiaan perustuvan BKG-tuolin prototyypiversion avulla. Tutkittavat BKG-muuttujat analysoidiin kunkin koehenkilön datasta 10 sekunnin ajalta ja niitä verrattiin Kuntokatsastuksissa suoritettuun submaksimaalisen polkupyöräergometritestin tulokseen (VO₂max). Pilottiryhmästä valittiin pienempi otos seurantaryhmään (N=25), jonka osalta tutkittiin myös kuntoilun seurauksena tapahtuneita muutoksia vertailemalla alkua ja 4 kk -mittausten tuloksia.

Kertaluonteisena suoritettujen mittausten tarkastelussa BKG-muuttujista löydettiin tilastollisesti merkitseviä eroja miesten ja naisten välillä: naisilla IJ-amplitudin korkeus ja IJ-käyrän teho ovat miehiä pienempiä (p<0.001) ja taajuusspektrin painopiste on alhaisemmilla taajuuksilla (p<0.05). Ikäryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. VO₂max korreloi positiivisesti IJ-amplitudin kanssa (r=0.245, p<0.01). Kun tarkastelu rajattiin pelkästään työikäisiin, VO₂max korreloi tilastollisesti merkitsevästi kaikkien analysoidujen muuttujien kanssa: korrelaatio oli positiivinen IJ-amplitudin (r=0.318, p<0.01), IJ-tehon (r=0,331, p<0.01) ja MPf:n (r=0.266, p<0.05) kanssa. Kuntoilun seurauksien tarkastelussa seurantaryhmän leposyke (-1.7±9.9%, p=n.s.) ja paino (-1.4±2.8%, p<0.05) laskivat, VO₂max (5.6±7.5%, p<0.001) parantui, IJ-amplitudi (3.4±15.0%, p=n.s.) ja IJ-teho (4.9±23.7%, p=n.s.) kasvoivat sekä MPf (39.1±35.7%, p<0.001) siirtyi korkeammille taajuuksille. VO₂max-muutoksen ja BKG-muuttujissa tapahtuneiden muutosten välille ei löydetty tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta eikä VO₂max-muutoksen mukaisesti jaettujen luokkien välille löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja minkään muuttujan osalta.

Tulosten perusteella tutkimuksessa käytetyllä tuolimallisella laitteistolla mitattuna ballistokardiografian IJ-aallon tarkastelu näyttäisi soveltuva sydän- ja verenkiertoelimistön kuntotason arviointiin kertaluontoisena mittauksena, etenkin alle 60-vuotiaiden osalla. BKG-tuolin keskeisimmät kehityskohteet liittyvät koehenkilön asemointiin, tekniikan luotettavuuden varmistamiseen sekä käyttöliittymän monipuolistamiseen.

AVAINSANAT: sydän- ja verenkiertoelimistö, ballistokardiografia, VO₂max, BKG-tuoli

ABSTRACT

Rusanen, Leena 2009. The applicability of Ballistocardiography for Cardiovascular Fitness Estimation. Department of Biology of Physical Activity, Vuotech, University of Jyväskylä. Master's Thesis of Biomechanics, 63 pp.

The purpose of the study was to investigate the applicability of ballistocardiography (BCG) for cardiovascular fitness estimation as a single measurement and as a method for measure a training effect. Also, the suitability of the analyzed variables (IJ-amplitude, IJ-power, mean power frequency (MPf)) for fitness estimation was discussed. One of the goals was to find the main improvement needs of the BCG chair used in the study.

The subjects of the study were volunteers attending to Kuntokatsastusasema –project pilotgroup (N=108, age $53,4 \pm 13,9$ years), which was divided into two subgroups: working population (under the age of 60, N=67) and seniors (N=41). There were more women (61%) among the subjects than men (39%). BCG measurement was carried out as a part of fitness tests of the project by the prototype of force plate technology based BCG chair. BCG variables were analyzed from ten seconds period of time for each subject and they were compared to the results of submaximal bicycle ergometer test ($VO_2\max$). In addition, a smaller follow-up group (N=25) was chosen, whose results were used to examine the training effect. The examination was performed by a comparison between the first and 4 month control measurements.

In a single measurement investigation, there were statistically significant differences between men and women in BCG variables: the IJ-amplitude ($p < 0.001$) and IJ-power ($p < 0.001$) were higher and MPf was in higher frequencies ($p < 0.05$) in men. There were no differences between working population and seniors. There was a positive correlation between $VO_2\max$ and IJ-amplitude ($r = 0.245$, $p < 0.01$). When examination was limited to working population, the positive correlation was found for all BCG variables: IJ-amplitude ($r = 0.318$, $p < 0.01$), IJ-power ($r = 0,331$, $p < 0.01$) and MPf ($r = 0.266$, $p < 0.05$) correlated to $VO_2\max$. The investigation of training effects showed that resting heart rate ($-1.7 \pm 9.9\%$, $p = n.s.$) and weight ($-1.4 \pm 2.8\%$, $p < 0.05$) decreased, $VO_2\max$ ($5.6 \pm 7.5\%$, $p < 0.001$) improved, IJ-amplitude ($3.4 \pm 15.0\%$, $p = n.s.$) and IJ-power ($4.9 \pm 23.7\%$, $p = n.s.$) increased and MPf ($39.1 \pm 35.7\%$, $p < 0.001$) moved to higher frequencies. There were no statistically significant correlations neither between the changes in $VO_2\max$ and the changes in any BCG variable, nor between the classes divided according the change in $VO_2\max$ in any BCG variable.

According to the findings of the study, if BCG is measured with the chair-type design used in this study, an examination of the IJ-wave seems to be applicable method in estimation of cardiovascular fitness as a single measurement, especially for people under the age of 60. In terms of further research and use of the BCG chair, the main developmental needs are within defining the posture of a subject, the reliability of technology and diversifying the user interface.

KEYWORDS: cardiovascular system, ballistocardiography, $VO_2\max$, BCG chair

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

ALKULAUSE

1 JOHDANTO	8
2 SYDÄMEN RAKENNE JA TOIMINTA	11
2.1 SYDÄMEN TOIMINTAKIERTO.....	12
2.2 ELEKTROKARDIOGRAFIA	12
3 BALLISTOKARDIOGRAFIA	14
3.1 BKG:N MITTAAMINEN.....	15
3.2 BKG:N TULKINTA	17
2.3 BKG:N KÄYTTÖ FYYSISEN KUNNON MITTAAMISESSA	19
4 FYYSSINEN KUNTO.....	23
4.1 FYYSISEN HARJOITTELUN VAIKUTUKSET SYDÄMEEN	24
4.2 KUNTOTESTAUS	25
4.2.1 Kestävyyssominaisuuksien testaus.....	25
4.2.2 Kuntotestauksen vasta-aiheet.....	26
5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	28
6 AINEISTO JA MENETELMÄT	29
6.1 KOEHENKILÖT	29
6.2 KUNTOKATSASTUKSEN MITTAUSPROTOKOLLA	30
6.3 BKG MITTAUSLAITTEISTO	32
6.4 DATAN ANALYSOINTI	33
6.5 KUNTOILUJAKSO	35
6.6 TILASTOLLINEN ANALYYSI.....	36

7 TULOKSET	37
7.1 KERTALUONTEISTEN MITTAUSTEN TULOKSET	37
7.1.1 BKG-muuttujien tarkastelu	38
7.1.2 BKG-muuttujien korrelaatio maksimaaliseen hapenottokykyyn.....	39
7.2 MUUTOKSET KUNTOILUN SEURAUKSENA	42
7.2.1 Muutosten tarkastelu.....	42
7.2.2 Muutosten korrelaatiot hapenottokykyyn.....	43
7.2.3 Kuntomuutosluokkien välinen tarkastelu (ANOVA).....	45
8 POHDINTA	47
9 LÄHTEET	54

LIITTEET: Liite 1: Ohjeistus Kuntokatsastukseen saapuville

Liite 2: Taustatietokysely Kuntokatsastukseen saapuvalle

Liite 3: Kuntokatsastuksen esittely

Liite 4: VO₂max viitearvot Shvartz & Reinboldin aineiston mukaisesti

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Δ	muutos (delta)
aerobinen kunto	kestävyyskunto
BKG	ballistokardiografia
diastole	sydämen toimintakierron veltostumisvaihe
EKG	elektrokardiografia
EMFi	paine-eroja mittaava kalvo (Electromechanical fim)
FFT	Fourier-muunnos aikatasosta taajuustasoon
IJ-amplitudi	I- ja J-huippujen välinen korkeus
IJ-käyrä	vasemman kammion supistuminen BKG-kompleksissa
kardiovaskulaarinen	sydän- ja verenkiertoelimistöön liittyvä
Kuntokatsastus	Kuntokatsastusasema-hankkeen kuntotesti
MPf	taajuusspektrin painopiste (Mean Power frequency)
N	koehenkilöiden lukumäärä
noninvasiivinen	ihoa rikkomaton anturointi
p	tuloksen tilastollinen merkitsevyys
pilottiryhmä	Kuntokatsastusasema-hankkeen koehenkilöt (N=108)
pp-ergo	polkupyöräergometritesti
QRS-kompleksi	sydämen kammioiden supistumisvaihe EKG:ssa
r	Pearsonin korrelaatiokerroin
SD	keskihajonta (Standard Deviation)
seniori	yli 60-vuotias
seurantaryhmä	rajattu otos kuntoilun seurausten tarkastelussa (N=25)
systole	sydämen toimintakierron supistusvaihe
TKK	Teknillinen korkeakoulu
työikäinen	alle 60-vuotias
ULF	ultra-matalataajuinen (ultra-low frequency)
VO ₂ max	maksimaalinen hapenottoikyky

ALKULAUSE

Tämä Pro Gradu –tutkielma tehtiin osana Snowpolis Oy:n hallinnoimaa Kuntokatsastusasema –hanketta, jonka vaiheissa sain olla mukana suunnitteluvaiheesta toteutukseen ja tieteelliseen tutkimukseen. Työn tavoitteena on tukea Teknillisessä korkeakoulussa aloitettua ballistokardiografisen mittaustuolin kehitystyötä.

Aluksi haluan esittää kiitokseni hankkeen yhteistyötahoille sekä kaikille niille aktiivisille pilottiryhmän kuntoilijoille, jotka tekivät hankkeen menestyksen ja sen merkittävät tulokset mahdollisiksi. Erikseen haluan mainita projektipäällikkö Jari Partasen, jonka hengenpaloa ilman Kuntokatsastusasemaa ei olisi syntynyt.

Kiitoksen sanat kuuluvat yhtäläillä tämän työn valmistumiseen vaikuttaneille henkilöille. Erityiskiitokset ”muumituolin” isälle, prof. Raimo Sepposelle, mielenkiintoisesta aiheesta ja asiantuntemuksesta ballistokardiografian saralla. Lisäksi kiitän liikuntateknologian maisterikoulutuksen henkilökuntaa prof. Vesa Linnamon johdolla tuesta ja opeista koko opintomatkan ajan. Lehtori Minna Tanskaselle esitän kiitokseni tämän työn ohjauksesta etenkin tieteellisen tutkimuksen saralla. Unohtaa ei sovi myöskään Snowpolis Oy:n henkilökuntaa, jota haluan lämpimästi kiittää innostavasta työilmapiiristä ja kärsivällisyydestä tämän työn etenemisessä. Toimitusjohtaja Antti Leppävuorelle osoitan suuren kiitoksen tästä mahdollisuudesta työskennellä liikunnan parissa.

Lopuksi haluan kiittää sydämestäni kaikkia teitä upeita ihmisiä, joita olen liikunnan ja urheilun parissa saanut tavata. Teidän ansiostanne sydämeni jaksaa sykkiä asialle yhä ja edelleen!

Vuokatissa toukokuussa 2009,

Leena Rusanen

1 JOHDANTO

Viime vuosina suomalaisten fyysinen kunto ja etenkin sydän- ja verenkiertoelimistön kuntoa indikoivan maksimaalisen hapenottokyvyn ($VO_2\text{max}$) tulokset ovat romahtaneet. Väestön ikääntyessä ja eläköitymisiän noustessa hyvinvoinnin ylläpitäminen ja työssä-jaksaminen ovat kansantaloudellisestikin merkittäviä haasteita. (Laine 2007.) Valtio-neuvoston kanslian raportin (2007) mukaan sairauksien ehkäisy terveyttä edistämällä on kustannushyötysuhteeltaan paras keino väestön terveyden ja toimintakyvyn parantami-ksi. Kuitenkin lähes puolet suomalaisista liikkuu terveytensä kannalta liian vähän ja huonokuntoisten osuus väestöstä kasvaa hälyttävää vauhtia. Tällä hetkellä heitä arvel- laan olevan Suomessa noin miljoona. Perinteiset liikuntaharrasteet ja toimintamallit on suunnattu lähinnä omaehtoisille aktiiviliikkuville ja liikunta-alan suuri haaste on vähän tai juuri lainkaan liikkuvien aktivoiminen elämäntapamuutokseen. (Diges 2008.)

Tämä tutkimus on osa Snowpolis Oy:n hallinnoimaa Kuntokatsastusasema-hanketta (2006-2008). Hankkeen aikana kehitettiin uudenlainen kunnan mittaamisen, seurannan ja ohjauksen palvelukonsepti, jossa palautteenanto ja kuntoilijan motivointi ovat keskei- sessä roolissa. Kuntokatsastusasema on matalan kynnyksen asema, joka tähtää asiak- kaansa liikuntatottumusten kehittymiseen ja ylläpitämiseen siten, että liikunta on sekä määrältään että laadultaan terveyden edistymisen kannalta riittävää. Kuntokatsastus- ideologiassa hyödynnetään autokatsastuksesta tuttua toimintamallia, jossa katsastus- käynnin tuloksia sovelletaan ihmisten terveydentilan tarkkailuun ja edistämiseen.

Hankkeen pilottiryhmä (108 vapaaehtoista) osallistui kahdeksan kuukautta kestäneeseen kokeiluun, jossa he kävivät Kuntokatsastuksessa kolme kertaa neljän kuukauden välein ja saivat opastusta liikuntaan etävalmennuksen avulla. Kuntokatsastuksissa fyysistä kuntoa mitattiin monipuolisesti, mm. verenkiertoelimistön kunto arvioitiin submaksi- maalaisella polkupyöräergometritestillä.

Kuntokatsastusten yhteydessä suoritettiin myös ballistokardiografinen (BKG) mittaus, jonka tuloksia käytettiin tämän tutkimuksen aineistona. Mittauksissa käytettiin Teknilli-

sen korkeakoulun (TKK) sovelletun elektroniikan laboratorion rakentaman terveystuolin prototyypiversiota. Professori Raimo Sepposen johtama tutkijaryhmä on kehittänyt mittauslaitteistoa, jossa sydämen toimintaa voidaan tutkia helposti ja huomaamattomasti tuolissa istuen (kuva 1).



KUVA 1. Professori Raimo Sepposen johdolla kehitetty BKG-tuoli

Ballistokardiografia on menetelmä, jolla tutkitaan sydämen pumppaustoiminnan kehoon aiheuttavia rekyylivoimia. Mittaustuloksena saatavan ballistokardiogrammin huiput vastaavat sydämen toimintakierron vaiheita ja kertovat niiden voimakkuudesta. Menetelmä on ollut tunnettu jo vuosisatoja, mutta sydämen sähköistä toimintaa kuvaava elektrokardiografia (EKG) syrjäytti sen kliinisessä käytössä ja kiinnostus BKG:ta kohtaan väheni. (Smith 1974.) Viime vuosikymmeninä menetelmä on kuitenkin noussut uudelleen esiin kehittyneen teknologian mahdollistaessa tarkemmat mittaustulokset ja tietokonepohjaiset analyysimenetelmät. (Trefny ym. 2003.)

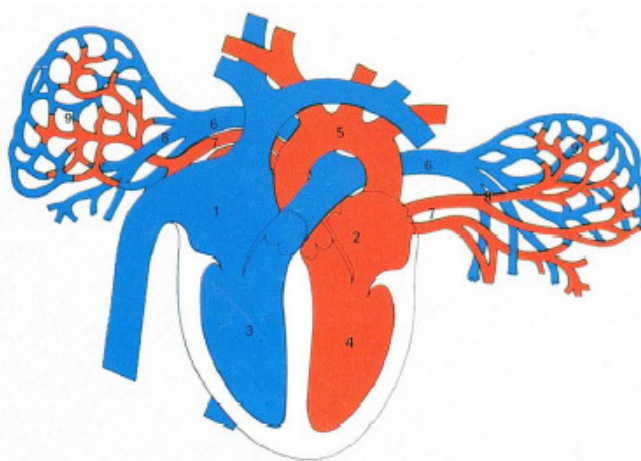
Tähän mennessä ballistokardiografiaa on käytetty lähinnä rinnakkaisena menetelmänä muiden, mm. EKG:n rinnalla. Signaalinkäsittely- ja analyysimenetelmien kehittyessä BKG:tä olisi mahdollista käyttää itsenäisesti sydämen pumppaus- ja supistuskyvyn mittaamiseen ja niissä tapahtuvien muutosten seurantaan esimerkiksi sydänsairauksien diagnostiikassa tai kuntoilijoiden fyysisen kunnon seurannassa. Etenkin tuolimallisella BKG-laitteistolla saavutettava mittauksen noninvasiivisuus ja vaivattomuus tarjoaa mahdollisuuden käyttää menetelmää myös muualla kuin laboratorio-oloissa, kuten etälääketieteellisenä sovelluksena kotihoidossa. (Ritola 2002.)

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää BKG:n soveltuvuutta kestävyyskunnan arviointiin. Vertailupohjana käytetään polkupyöräergometrillä suoritettuja epäsuoran maksimaalisen hapenottoyvyn tuloksia. Samalla jatketaan TKK:lla rakennetun terveystuolin kehitystyötä.

2 SYDÄMEN RAKENNE JA TOIMINTA

Sydän on oleellinen osa verenkiertoa, joka toimii elimistön yleisenä ravinto- ja kuona-aineiden kuljetusjärjestelmänä. Supistumisellaan sydän huolehtii siitä, että veri saa tarpeeksi liike-energiaa kulkeakseen verisuonissa. Sydän on keskimäärin 300-350 grammaa painava ontto lihas, joka koostuu kahdesta erillisestä puoliskosta, vasemmasta ja oikeasta. Kumpikin puolisko puolestaan jakautuu eteiseen, johon veri saapuu sekä kammioihin, joiden kautta veri pumppautuu suuriin valtimoihin, keuhkovaltimoon ja aorttaan (kuva 2). Lisäksi sydämessä on neljä sydänlappää: kammioiden ja eteisten väliset eteiskammio-läpät sekä kammioiden ja suurten verisuonten väliset kammiovaltimoläpät. (Bjålie ym. 2000. 223-227.)

Sydän rakentuu sydänlihassoluista, jotka toimivat kuitenkin yhdessä kuin yksi solu, jolloin impulssi etenee tavallista luurankolihasta nopeammin. Tästä johtuen sydän supistuu täydellä voimallaan tai ei lainkaan. (Nienstedt ym. 1976. 92-93.) Säännöllisen fyysisen rasituksen seurauksena sydänlihas vahvistuu ja kasvaa paksuutta, jolloin myös kammioiden supistuminen on voimakkaampaa (Bjålie ym. 2000. 226-227.)



- 1) Oikea eteinen
- 2) Vasen eteinen
- 3) Oikea kammio
- 4) Vasen kammio
- 5) Aortta
- 6) Keuhkovaltimot
- 7) Keuhkolaskimot

KUVA 2. Sydämen rakenne (Palo 1993).

2.1 Sydämen toimintakierto

Sydämen toiminnassa samat vaiheet toistuvat säännöllisesti. Toimintakierto eli syklos muodostuu kahdesta vaiheesta: supistumisvaiheesta (systole) ja veltostumisvaiheesta (diastole). Veri virtaa sydämen pumppaustoiminnan aiheuttamien paine-erojen avulla. Sydänlääpien tehtävä on estää veren virtaus väärään suuntaan; ne avautuvat ja sulkeutuvat paine-erojen mukaisesti. Iskutlavuudeksi kutsutaan yhden supistuksen vasemmasta kammioista aorttaan työntämää verimäärää. Kammioiden veltostuessa paine niissä laskee nopeasti ja sen alittaessa eteis-paineen eteis-kammioläpät avautuvat ja veri alkaa virrata kammioihin. Diastolen loppuvaiheessa eteiset supistuvat työntäen lopunkin verimassan kammioihin. (Nienstedt ym. 1976. 94-97.)

Yksi verenkierron tehtävistä on hapen kuljettaminen keuhkoista elimistön kudoksiin. Sydän huolehtii yhdessä keuhkojen kanssa veren hapettamisesta; vähähappinen veri saapuu kudoksista oikealle puolelle sydäntä, josta sydän pumppaa sen keuhkoihin. Tätä kutsutaan pieneksi verenkierroksi. Suuressa verenkierrossa runsashappinen veri palaa keuhkoista sydämen vasemmalle puolelle kammioon, jonka supistuessa veri etenee aortan välityksellä verisuonistoon ympäri kehoa. (Bjälje ym. 2000. 230-233.)

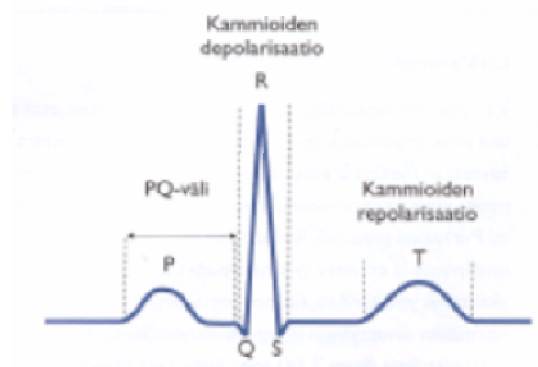
2.2 Elektrokardiografia

Sydämen sähköinen toiminta voidaan liittää sydämen eri supistusvaiheisiin. Elektrokardiografialla (EKG) tutkitaan sydämen sähköistä toimintaa rekisteröimällä elektrodien avulla kehossa tapahtuvia jännite-eroja. EKG-käyrä eli sydänfilmi rekisteröi sydämen perusrhythmin, osoittaa sähköisen akselin suunnan sekä antaa tietoa sydänlihaksen eri osien toiminnasta. Näiden avulla voidaan tehdä johtopäätöksiä sydämen kunnosta ja mahdollisista sairauksista. (Bjälje ym. 2000. 228-230.)

Sydänlihaksen aktiopotentiaali eli impulssi alkaa eteis- eli sinussolmukkeesta ja leviää sieltä impulssinjohtojärjestelmää pitkin muihin sydämen osiin. Aktiopotentiaalit kulkeutuvat eteisiin ja kammioihin huomattavasti tavallista luurankoliuksen kudosta nopeammin ja saavat kammioliuksen supistumaan lähes yhtäaikaaisesti. Sydämen kärki su-

pistuu kuitenkin hieman aiemmin, jotta veri virtaisi tehokkaammin kammioista valtimoihin. (Frick ym. 1994.)

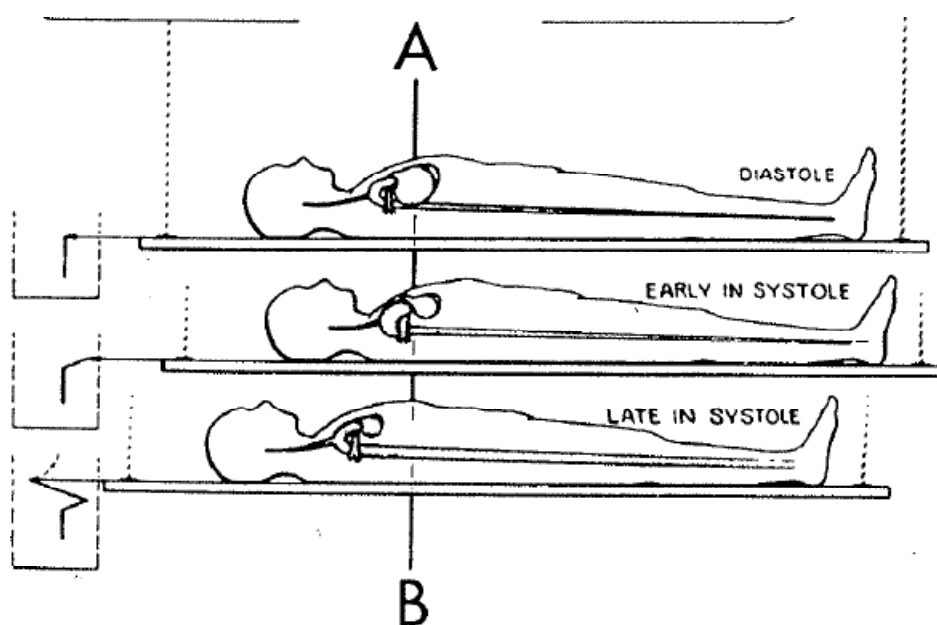
Standardi EKG:ssä on kolme aaltoa (kuva 3). P-aalto kuvaa eteisen depolarisaatioa hieman ennen eteisen supistumista. QRS-kompleksi on puolestaan kammioiden depolarisaatiovaihe, jonka aikana kammiosupistus käynnistyy. T-aallon aikana kammiot repolarisoituvat. Eteisten repolarisaatio jää QRS-kompleksin alle, minkä vuoksi se ei yleensä näy EKG-käyrällä. Mittauksissa tarkastellaan usein sykettä, joka tarkemmin ilmaistuna viittaa kammioiden supistumiseen eli EKG-käyrän R-piikkiin. Kahden kammiosupistuksen välinen aika, sykeväli, ilmaistaan kahden R-piikin välisenä ajallisena etäisyytenä, R-R-intervallina. (Bjälje ym. 2000. 228-230.)



KUVA 3. Standardi EKG-aalto (Bjälje ym. 2000).

3 BALLISTOKARDIOGRAFIA

Ballistokardiografia on noninvasiivinen eli ilman ihonalaista anturointia tapahtuva menetelmä sydämen ja verenkiertoelimistön toiminnan tutkimiseksi. Sen etuina on nopeus ja helppokäyttöisyys. Ballistokardiografia pyrkii vastaamaan kysymyksiin: onko sydän vahva vai heikko ja kuinka hyvin se pystyy pumppaamaan verta. Menetelmä perustuu sydämen iskuvoimasta ja veren virtauksesta aiheutuvien kehon liikkeiden mittaamiseen. Ilmiö perustuu Newtonin III:een, voiman ja vastavoiman, lakiin: kun sydänlihaksen supistumisen aiheuttama rekyylivoima aikaansaa veren virtauksen ja verimassaan liikkeen kehon sisällä, keho liikkuu vastakkaiseen suuntaan. Tämä havainnollistetaan kuvassa 4: kehon massakeskipiste säilyy samana, mutta sydämen toiminnasta johtuen verimäärä kehon eri osissa vaihtelee aiheuttaen kehon liikkeen vastakkaiseen suuntaan. Nämä ballistiset liikkeet kuvastavat sydämen mekaanisia ominaisuuksia kuten sydänlihaksen supistusvoimaa ja sitä kautta sydämen kuntoa. (Smith 1974. 58-73.)



KUVA 4. Kehon massakeskipiste (A-B) säilyy samana, mutta sydämen supistuksen eri vaiheissa (systole-diastole) verimäärä kehon osissa vaihtelee aiheuttaen kehoon rekyylivoimia vastakkaiseen suuntaan. (Smith 1974.)

Ilmiöstä on havaintoja 1700-luvun lopulta, mutta ensimmäiset fysiologiset kokeet tehtiin 1900-luvun alussa (Smith 1974). Joitakin vuosikymmeniä myöhemmin menetelmän kehittyessä halvaksi ja helppokäyttöiseksi, sen suosio tutkimuksissa kasvoi. Innostus kääntyi kuitenkin laskuun eikä menetelmä yleistynyt kliinisessä käytössä, sillä tarvittavaa teknologiaa analysointiin ei ollut tarjolla. Menetelmälle oli asetettu paljon odotuksia, mutta tutkimuksissa käytetyt useat erilaiset mittausseläimet vaikeuttivat tulosten vertailua ja virheelliset analysointimenetelmät asettivat lopulta ballistokardiografian luotettavuuden tiedepiireissä kyseenalaiseksi. EKG:n yleistyminen sydäntutkimuksessa vähensi kiinnostusta entisestään. Laajoihin tutkimuksiin pohjautuen menetelmälle on kuitenkin pystytty asettamaan standardeja ja antamaan suosituksia sen käytöstä. Viime vuosikymmenten aikana tapahtunut tekniikan kehitys on osaltaan laajentanut sen käyttömahdollisuuksia ja sovelluskohteita. (Ritola 2002.)

3.1 BKG:n mittaaminen

Ballistokardiografiaan on historian saatossa käytetty monia erilaisia mittalaitteistoja ja eri kehon asennoin. BKG-laitteisto luokitellaan usein sen ominaistajuuden mukaan joko korkea- (ominaistajuus > 10 Hz), matala- (ominaistajuus $< 1-3$ Hz) tai ultra-matalataajuiseksi ($< 0,3$ Hz). Nämä kaikki mittaavat samaa ilmiötä, mutta eroavat toisistaan kehon ja laitteen välisissä kytkennöissä. BKG-mittaussysteemi koostuu alustasta, antureista sekä datan tallennuslaitteistosta. Alustan rakenne riippuu koehenkilön asennosta. (Koskinen 2002.)

Ensimmäisissä tutkimuksissa suosittiin horisontaalista eli makuuasentoa ja todistettiin, että näistä variaatioista paras on ultra-matalataajuuksinen (ultra-low frequency, ULF) menetelmä, jossa koehenkilö makaa kevyellä vapaasti liikkuvalla alustalla. Värähtelyä mitattiin makuualustaan asennetuilla jäykillä jousilla, jolloin tutkittavana suurena toimi siirtymä. Tulosten vertailtavuutta heikensivät eri laitteistojen ominaistajuudet sekä niissä tapahtunut signaalin vaimentuminen, mikä edelleen vaikutti saatavan signaalin muotoon. (Harrison & Talbot 1967.)

Kiihtyvyyssantureiden avulla siirryttiin vähitellen mittaamaan siirtymien sijasta kiihtyvyyksiä ja tätä kautta voimaa. Eräs sovellus tästä on sijoittaa anturi makaavan henkilön

rintalastan alaosaan, jolloin sydämen toiminnan aiheuttamat rekyylivoimat saadaan rekisteröityä pystysuuntaisina. (Ritola 2002.)

Vertikaalisia asentoja, eli seisonta- ja istuntamittauksia, puoltavat niiden luonnollisuus, parempi kontakti noninvasiivisiin antureihin, mittalaitteiden pienempi koko sekä käytön helppous. Istumamittauksissa on huomioitava, että voimasignaali välittyy istuimeen hyvin monimutkaisen värähtelysteemin lävitse, mikä muokkaa signaalia jollain voimakkuudella. (Ritola 2002). Artifaktoja voivat aiheuttaa esimerkiksi muutokset istuma-asennossa mittauksen aikana sekä kehonkoostumus (Koskinen 2002.)

Kehittynyt mittausteknologia toi myös BKG-mittauksiin venymäliuska-anturit, joiden avulla pystytään mittaamaan pysty-, vaaka- ja horisontaalin suuntaisia voimia sekä vääntömomenttia. Toiminta perustuu venytyksen aiheuttamaan anturissa olevan metallijohteen muodonmuutokseen, jolloin johteen resistanssi muuttuu. Venymäliuska-antureiden eduksi lasketaan myös niiden herkkyys, hyvä toistettavuus niistä saatava sähköinen signaali, joka mahdollistaa monimuotoisen signaalinkäsittelyn. (Ritola 2002.)

Nykyaikaisissa BKG-mittauksissa on hyödynnetty myös EMFi-kalvoja. EMFi (Electromechanical Film) on ohut muovikalvo, jossa on polarisoituneita sähköä johtavia kerroksia. Kalvossa tapahtuvat paine-erot aiheuttavat varauksen, joko sähkövirtana tai jännitteenä. EMFi-kalvon (kuva 5) etuna on sen herkkyys liikkeen mittaamisessa. Lisäksi se on rakenteensa puolesta helppo sijoittaa esim. verhoilun alle. (Akhbardeh 2006.) Antureiden stabiilius voi joissain tapauksissa olla kyseenalainen, sillä mm. lämpötilaerot voivat vaikuttaa mittaustuloksiin (Haapamäki 2007.)



KUVA 5. Emfit Oy:n valmistama EMFi-kalvo, joka voidaan sijoittaa esim. toimistotuolille, kuten Akhbardeh ym. (2006) tutkimuksissaan.

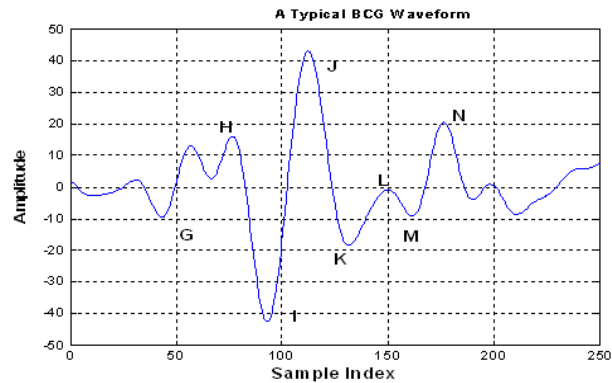
Tuoreessa tutkimuksessaan Trefny ym. (2009) ovat kehittäneet menetelmän, jossa hyödynnetään terästuolilla lepääviä piezoelektrisiä antureita ja moderneja signaalikäsittelylaitteita. Menetelmällä voidaan tutkia kardiovaskulaarisia voimia sekä sympaattisen ja parasympaattisen hermoston aktiivisuutta sykevälivaihteluun perustuen. Sykevälivaihtelun lisäksi laitteisto rekisteröi sykkeen, sydämen iskuvoiman sekä hengitystaajuuden.

Myös signaalinkäsittelymenetelmät ovat monipuolistuneet ja erilaisia analyysimenetelmiä on kehitetty signaalin häiriöttömyyden parantamiseksi ja välittömien mittaustulosten aikaansaamiseksi. Tietokonepohjaisten ohjelmistojen avulla raakadataa voidaan tarkastella ja käsitellä monin tavoin, mm. suodattamalla ja suorittamalla eri komponenttien analysointia Fourier muunnoksella. (Ritola 2002.) Edelleen kehitettävää on esimerkiksi käyttöliittymien osalta ja mittaustulosten saattamiseksi reaaliaikaisiksi (Akhbardeh ym. 2007.)

3.2 BKG:n tulkinta

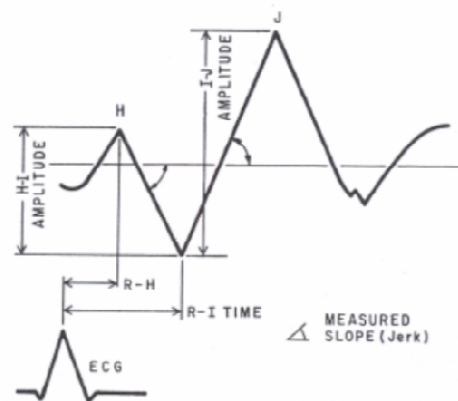
Ballistokardiogrammia tulkittaessa on huomioitava tutkittavan ikä, sukupuoli ja mittaus-tilannetta edeltänyt rasitus sekä kehon asento ja hengityksen vaihe itse mittaustilanteessa. Esimerkiksi iän on havaittu vaikuttavan käänteisesti amplitudin korkeuteen. (Smith 1974.) Lisäksi korkea ikä lisää todennäköisyyttä poikkeavuuksiin BKG-aalloissa (Hollozy ym. 1964). Myös hengitysvaiheet voidaan havaita signaalista amplitudin ollessa suurempi sisäänhengitettäessä. Hengitysvaiheen vaikutusta on pyritty vakioimaan mm. pidättämällä hengitystä, kuten Starr & Noordergraaf (1967) tutkimuksessaan. Ritola (2002) puolestaan käytti ns. Valsalvan menetelmää, jossa keuhkot vedetään täyteen ilmaa ennen hengenpidätystä ja puristusta.

Kuvan 6 vertikaaliakseli kuvastaa voimaa, joka vaaditaan pitämään kehoa paikallaan. Normaali BGK-aalto muodostuu seuraavista komponenteista: loivasti nouseva H-aalto, negatiivinen veren kiihtyvyydestä kohti aortan kaartaa aiheutuva I-aalto, veren liikesuunnan kääntymisen aortan kaareissa aiheuttama jyrkästi nouseva ja signaalin korkein J-aalto sekä diastolista K-, L-, M- ja N-aalloista, joiden on arveltu syntyvän perifeerisen vastuksen aiheuttamista voimista. (Abrams ym.1953.)



KUVA 6. Esimerkki normaalista yksittäisestä BKG-aallosta (Akhbardeh ym. 2006).

BKG:n tulkinnassa on otettava huomioon, että jokaisen ihmisen BKG-signaalin aaltomuoto on yksilöllinen ja pelkästään ruumiinrakenne voi aiheuttaa yksilöiden ja mittaus-ten välisiä eroja (Thompson ym. 1953). Aaltokuvaajasta ei voida tarkastella yksittäistä sydämen fysiologista tapahtumaa, vaan aalto on summa kaikesta sydämen toiminnasta ja veren liikkeistä syntyvästä värähtelystä. Tämän vuoksi ballistokardiogrammia vertailaan toiseen samanaikaisesti rekisteröityyn sydämen fysiologiseen toimintoon, kuten sydänääniin tai EKG-kuvaajaan (kuva 7). (Harrison & Talbot 1967.)



KUVA 7. BKG-käyrän analysointi EKG-käyrää käyttäen (Harrison & Talbot 1967).

Kuvaajasta tarkasteltavia perussuureita ovat amplitudit, käyrien jyrkkyydet, taajuudet sekä aikajaksot BKG-aaltojen välillä tai EKG-käyrään verrattuna (Harrison & Talbot

1967). On kuitenkin muistettava, että yksittäisen aaltomuodon tarkastelu ei anna luotettavaa tulosta, sillä jo peräkkäiset aallot poikkeavat toisistaan Tämän vuoksi tulisi käyttää tulkinnassa useampaa perättäistä aaltomuotoa (Hollozy ym. 1964).

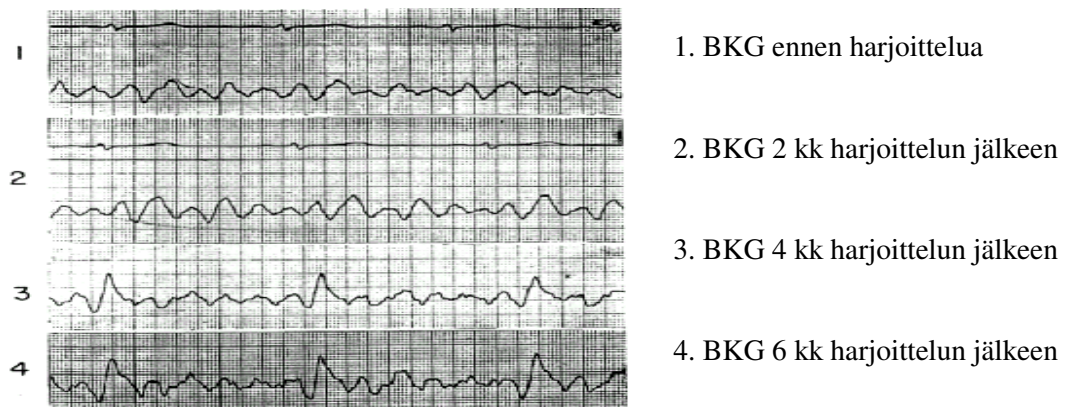
Menetelmällä ei suoranaisesti tutkita voimia, vaan voiman tuottamiseen kulunutta aikaa ja aikaintervalleja sekä voiman aiheuttamaa kehon liikkeen suuruutta. Toisin sanoen BKG tarkastelee voimaa kiihtyvyyden, nopeuden ja sijainnin muutoksina (Elliot ym. 1954). Koska keuhkojen kautta tapahtuvan pienen verenkierron aikaansaamat voimat ovat pieniä, tärkein tekijä on systolinen vaihe ja vasemmasta kammioista aorttaan pumpautuva veri (Brown ym. 1953). Tätä kuvaava IJK-kompleksi muodostuu verimassan kiihtyvyydestä ja hidastuvuudesta aortassa. IJ-amplitudi kuvaa vasemman kammion supistusvoimaa ja IJ-käyrän jyrkkyys supistuksen tehokkuutta, ns. pumppaustehoa, eli miten nopeasti voima tuotetaan (Alametsä ym. 2007). Myös taajuusspektrin avulla voidaan tutkia voimantuottoaikoja: nopeasti tuotettu voima lisää korkeataajuisia komponentteja (Harrison & Talbot 1967).

2.3 BKG:n käyttö fyysisen kunnon mittaamisessa

Koska BKG:n on osoittautunut luotettavaksi monien sydänsairauksien, mm. sepelvaltimotaudin, diagnosoinnissa, on sen käyttöä tutkittu myös fyysisen kunnon mittarina (Kettunen ym. 2001). Ennen varsinaisia fyysiseen kuntoon keskittyneitä tutkimuksia menetelmää on hyödynnetty mm. sykkeen, iskuilavuuden ja kammion sykäysaikojen arviointiin (Stevenson ym. 1949). Korkeiden amplitudien (supistusvoima) ja käyrän jyrkkyyden kasvamisen (pumppaustehon) oletetaan korreloivan parantuneen verenkiertoelimistön toimintakyvyn kanssa (Hanson ym. 1968). Veren virtausnopeuden ja kiihtyvyyden onkin todettu olevan urheilijoilla huomattavasti suurempi normaaliväestöön verrattuna (Hollozy ym. 1964). Koska sydämen pumppaus- ja supistuskyky paranevat kuntourheilun tuloksena, BKG-menetelmän oletetaan soveltuvan sydämessä ja verenkiertoelimissä tapahtuvan kehityksen seuraamiseen harjoitusjakson aikana (Kettunen 2001).

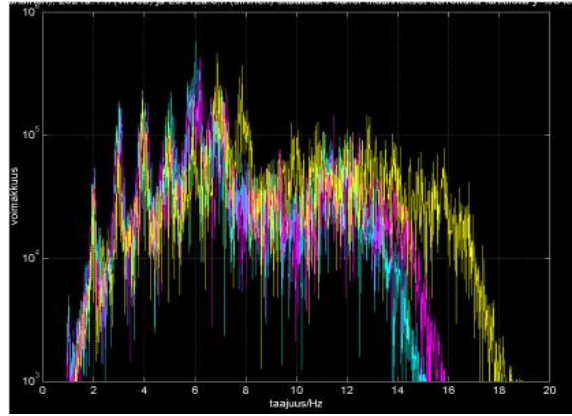
Eri tutkimuksissa BKG-käyrässä on havaittu selkeitä muutoksia harjoittelun vaikutuksesta. Verdouw:n ym. (1973) tutkimuksessa kolmen viikon harjoittelulla sydämen va-

semman kammion supistusvoimaa kuvaava IJ-amplitudi kaksinkertaistui ja leposyke laski huomattavasti. Tämä vahvisti Jokl:n (1959) saamia tuloksia, joissa kestävyysurheilijoilla mitattiin olevan korkeammat amplitudit; I-aalto oli jopa puolta korkeampi verrokkiryhmään nähden. Hollotzy ym. (1964) puolestaan tutkivat puolen vuoden kestävyysharjoittelun vaikutuksia ja havaitsivat huomattavaa kasvua mm. I- ja J-aaltojen amplitudeissa sekä HI- ja IJ-käyrien voimantuottonopeuksissa (kuva 8). Alametsä ym. (2007) havaitsivat, että kuntoilun seurauksena laskenut verenpaine aiheutti myös muutoksia BKG-signaaliin. BKG-muuttujien parantumisella on havaittu olevan selkeä yhteys parantuneeseen maksimaaliseen hapenottokykyyn (Elsbach ym. 1970), mikä puoltaa BKG:n käyttöä fyysisen kunnan mittarina.

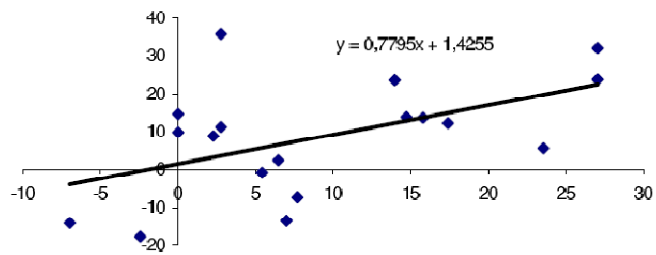


KUVA 8. Kuuden kuukauden kestävyysharjoittelun vaikutukset BKG-käyrään. (Hollozy ym. 1964).

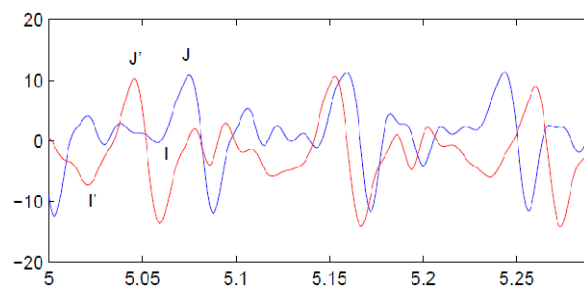
Myös Kettunen ym. (2001) tutkivat kymmenen viikon harjoittelujakson vaikutuksia BKG-signaaliin, maksimaaliseen hapenottokykyyn sekä sydämen kokoon. Signaalin käsittelyssä käytettiin integraalimuunnosta, jonka tarkoituksena oli minimoida tuolin vaikutusta alkuperäiseen signaaliin. Hapenottokyvyn parantumisen myötä BKG-signaalin korkeataajuuksiset komponentit lisääntyivät ja taajuusspektrikuvaajan painopiste siirtyi oikealle (kuvat 9 ja 10). Harjoittelulla havaittiin olevan myös IJ-aallon amplitudia kasvattava vaikutus (kuva 11).



KUVA 9. Signaalispektri ennen (turkoosi), puolivälissä (purppura) ja jälkeen (keltainen) 10 viikon kestävyysharjoittelun (Kettunen ym. 2001).



KUVA 10. Maksimaalisen hapenottokyvyn muutoksen (%) korrelaatio spektrin painopisteen muutoksen kanssa kymmenen viikon harjoittelun jälkeen (Kettunen ym. 2001).



KUVA 11. Integraalimuunnoksella saadut BKG-signaalit ennen (sininen) ja jälkeen (punainen) kymmenen viikon harjoittelujakson. (Kettunen ym. 2001).

Ritola (2002) tutki istuma-asennossa mitattuja BKG-muuttujia vertailemalla aktiiviurheilijoiden tuloksia verrokkiryhmään. Vaikka vertailuryhmään nähden amplitudit olivat urheilijoilla jonkin verran suurempia, ei selkeää yhteyttä kuntotason ja BKG-muuttjien

välillä pystytty osoittamaan. Korrelaatiota löytyi ainoastaan K-aallon suhteen, mutta sen käyttö tässä yhteydessä on arveluttavaa koska aalto ei välttämättä ole sydänperäinen. Abrams:n ym. (1953) mukaan K-aalto voi olla peräisin vartalon heijasteista. Lisäksi kaikkien tulosten osalta hajonta oli suurta, etenkin urheilijoiden ryhmässä. Amplitudien ohella tutkittiin myös iskuilavuutta, jota arvioitiin BKG-muuttujien, pulssin nopeuden sekä verenpaineen perusteella. Näitä laskennallisia tuloksia verrattiin ultraäänellä mitattuihin iskuilavuuksiin ja menetelmä vaikutti lupaavalta (positiivinen korrelaatio 0.71).

4 FYYSINEN KUNTO

Fyysisen kunnan määritelmiä on useita ja ne perustuvat pääasiassa siihen kohderyhmään ja sen erityispiirteisiin, johon se kulloinkin viittaa (Keskinen ym. 2004). Tyypillisesti fyysinen kunto käsittää seuraavat osatekijät: sydän- ja verenkiertoelimistön kunto, kehonkoostumus, lihaskunto sekä motorinen ja metabolinen kunto. Sydän- ja verenkiertoelimistön kunnolla tarkoitetaan sydämen ja keuhkojen kapasiteettia toimittaa happea aktiivisille lihaksille etenkin raskaan fyysisen kuormituksen aikana. Kehonkoostumus viittaa etenkin kehossa olevan rasvan ja rasvattoman massan määrään, niiden suhteellisiin osuuksiin sekä niiden jakautumiseen kehossa. Lisäksi voidaan tarkastella luiden vahvuutta. Lihaskunto pitää sisällään lihasten voiman, kestävyuden ja joustavuuden. Motorisella kunnolla puolestaan tarkoitetaan tasapainoon liittyviä tekijöitä kuten kehon liikkeiden kontrollointi ja asentojen ylläpitäminen. Metabolinen kunto viittaa aineenvaihdunnallisiin tekijöihin ja yleensä se määritellään glukoosinsietona, insuliiniherkkyytenä, rasvahappoprofiilina sekä hapetuttujen rasvojen ja hiilihydraattien suhteena. (Bouchard & Shepard 1994.)

Urheilijalle fyysinen kunto liittyy onnistuneen kilpailusuorituksen läpivientiin. *Suorituskeskeisen näkemyksen* mukaan fyysinen kunto on kykyä selvitä fyysisistä suorituksista mahdollisimman pienin ponnistuksin ja tehokkaasti. Tällöin fyysisen suorituksen osatekijät ovat: kestävyys, nopeus, voima, liikkuvuus ja koordinaatiokyky. (Bouchard & Shepard 1994.)

Tavalliselle kuntoilijalle puolestaan hyvän kunnan kriteeriksi riittää, että yksilö pystyy elämään normaalia elämää ilman epämiellyttäviä fyysisiä tuntemuksia (Keskinen ym. 2004). Tämä *terveyskeskeinen näkemys* ottaa ne rakenteelliset ja toiminnalliset ominaisuudet, joihin vaikuttamalla liikunta voi ylläpitää ja edistää terveyttä sekä ennaltaehkäistä sairauksia (Bouchard & Shepard 1994). Fyysisen kunnan on myös todettu korreloivan psyykkisen jaksamisen kanssa, ja yhdessä ne muodostavat perustan ihmisen hyvinvoinnille (Laine 2007).

Vähäinen fyysinen aktiivisuus, huono kestävyyskunto ja keskivartalolihavuus ovat suoraan tai välillisesti tekijöitä, jotka lisäävät merkittävästi riskiä sairastua sydän- ja veri-

suonitauteihin (Laine 2007). Kavanagh:in (2000) mukaan fyysinen harjoittelu vähentää sydänperäisiä oireita mm. parantamalla verenkiertoelimistön kuntoa, parantamalla veren rasva-arvoja, laskemalla korkeata verenpainetta, vähentämällä ylipainoa ja aikuisiän diabeteksen riskiä. Tyypin 2 diabetes aiheuttaa puhjetessaan muutoksia verenkiertoelimistön toiminnassa, mutta näiden vaikutuksia voidaan lieventää liikunnan avulla. Merkittävimpiä hyötyjä ovat verisuonten laajeneminen, vasemman kammion parantunut toiminta sekä insuliiniherkkyyden paraneminen (Stewart 2002).

Hyvällä hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnolla on erityisen merkittävä rooli myös sairauksien ennaltaehkäisyssä ja sitä edistää parhaiten kestävyysominaisuuksien harjoittaminen. (Keskinen ym. 2004). Myers ym. (2002) havaitsivat seurantatutkimuksessaan, että fyysinen suorituskyky on merkittävin tekijä ennustettaessa kuolemanriskiä. Liikunnan terveystaikutuksista juuri sydämen ja verenkiertoelimistön kunnolla katsotaan myös olevan keskeisin merkitys ihmisen työ- ja toimintakykyyn (ACSM 2000). Kestävyystyyppisellä harjoittelulla voidaan lieventää ikääntymisen vaikutuksia (Ogawa ym. 1992).

4.1 Fyysisen harjoittelun vaikutukset sydämeen

Pitkäkestoinen ja säännöllinen liikunta saa aikaan sekä rakenteellisia että toiminnallisia muutoksia sydämessä, etenkin sen vasemmassa kammiossa. Jo muutaman viikon kestävyystyyppinen harjoittelu parantaa vasemman kammion supistusvoimaa ja kasvattaa iskutilavuutta, minkä seurauksena myös hapenottokyky paranee. Erityisesti maksimi-kestävyys- ja voimaharjoittelu parantaa $VO_2\text{max}$:ia (Nummela 2004). Syketaajuus levossa ja kevyessä rasituksessa laskee. Lisäksi syke tihenee hitaammin ja maksimisyke saavutetaan vasta todella kovassa rasituksessa. Rakenteellisiin muutoksiin vaaditaan jo kuukausien kestoista tehokasta kestävyys- ja voimaharjoittelua. Näitä muutoksia ovat sydämen onteloiden suureneminen ja sitä kautta sydämen tilavuuden kasvu sekä seinämien vahvistuminen, mikä johtuu sydänlihaksen vahvistumisesta. (Niensted ym. 1976. 88-97.) Kestävyys- ja voimaharjoittelun vaikutuksia voidaan havaita myös EKG:sta. Diastole pitenee, minkä seurauksena sydänlihas saa enemmän happea ja ravinteita. Harventuneen leposykkeen lisäksi voi esiintyä voimakas rytminmuutos hengityksen myötä. Tästä seuraa lisääntynyt sykevälvaihtelu. Terveystieteiden kannalta merkittävä harjoittelun tuoma hyöty on, että riski sy-

dämen verisuonten ahtautumiselle pienenee, kun verihiutaleiden kasautuminen ja verisuonten seinämien kalkkeutuminen vähenevät. (Rehunen 1997. 24-26.)

4.2 Kuntotestaus

Kuntotestauksella tarkoitetaan fyysisen kunnan osatekijöiden mittaamista eli tutkitaan yksilön kykyä tuottaa lihasvoimaa, aikaansaada mekaanista tehoa ja näiden seurauksena tehdä mekaanista työtä. Tieteellisen tutkimuksen pohjalta testimenetelmiä on voitu vaikeoida etenkin voimantuoton, työtehon, työmäärän ja energiankulutuksen osalta. Kuntotestit voidaan jakaa testattavan ominaisuuden perusteella kehonkoostumuksen, kestävyyskunnan, lihaskunnan, motoriikan ja aineenvaihdunnan mittauksiin (Bouchard & Shepard 1994). Kuntotestaus kertoo elimistön toimintakyvystä ja se toimii apuvälineenä, kun halutaan parantaa urheilusuoritusta, parantaa fyysistä kuntoa, vähentää sairastumisen riskiä ja auttaa passiivista yksilöä edistämään omaa terveyttään. Työhyvinvointipalveluna kuntotestauksia käytetään mittaamaan edellytyksiä työtehtävistä suoriutumiseen (ACSM 2000). Testauksen keskeisiä laatuksia ovat pätevyys (validiteetti), luotettavuus ja toistettavuus (reliabiiteetti). (Keskinen ym. 2004. 11-15.)

4.2.1 Kestävyysominaisuuksien testaus

Kestävyys fyysisenä perusominaisuutena voidaan määrittellä elimistön kykyä vastustaa väsymystä fyysisen kuormituksen aikana. Kestävyysominaisuuksista aerobinen kunto on keskeisin tekijä ihmisen arkipäiväisessä tekemisessä ja jaksamisessa. Kestävyyyteen vaikuttavat erityisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto, lihasten aineenvaihdunta ja hermoston toiminta. Käytetyin tapa kestävyysominaisuuksien määrittämiseen on maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_2max) määrittäminen mittaamalla se suoraan hengityskaasuista tai arvioimalla epäsuoralla menetelmällä. VO_2max ilmoitetaan yleensä tilavuutena minuutissa kehon painoon suhteutettuna yksikkönä ml/kg/min. (Nummela 2004. 64-65.)

Suora testi on näistä testaajan kannalta vaativampi ja siihen tarvitaan laboratorio olosuhteet sekä kalliimpi laitteisto. Suorassa testissä mitataan suorituksen aikana käytetty

happimäärä ja tuotettu hiilidioksidi hengityskaasuanalysoijan avulla. Testissä koehenkilöä kuormitetaan nousevalla kuormalla maksimisuorituskykyyn eli uupumukseen asti, minkä vuoksi myös lääkärin läsnäolo on suotavaa. Urheilijoita testattaessa kuormitusmalli valitaan mahdollisimman lajinomaiseksi. Tyypillisesti käytetään laitteita ja menetelmiä, joissa kuormituksen suuruus voidaan laskennallisesti määrittää. Näitä ovat esimerkiksi juoksumatto, jonka nopeutta ja kallistuskulmaa voidaan vaihdella sekä polkupyöräergometri, jonka oleellisin ominaisuus ovat säädeltävä vastus, poljinfrekvenssi ja niistä laskettava teho. (Nummela 2004. 65-78.)

Kuntoilijoiden testaamisessa suositetaan turvallisempaa ja kustannuksiltaan halvempaa epäsuoraa submaksimaalista testiä. Epäsuorassa testissä maksimaalinen hapenotto- ja sydämen tahti arvioidaan jonkin muun mitattavan suureen kuin varsinaisen hapenoton perusteella. Yleisin näistä on sykereaktion seuraaminen erilaisissa kuormitusmalleissa, jolloin hapenotto- ja sydämen tahti määritellään saavutetun työtehon ja syketa-son sekä arvioidun maksimisykkeen perusteella. Muita epäsuoran testin mitattavia suureita ovat esimerkiksi edetty matka (Cooperin testi) ja sykeväli- vaihtelu (Polar-sykemittarin lepotesti). Epäsuora testi ei kuitenkaan ole tieteellisesti täysin luotettava maksimaalisen suorituskyvyn määrittämiseen. (Keskinen ym. 2004. 80-81.)

4.2.2 Kuntotestauksen vasta-aiheet

Sydän- ja verenkiertoelimestön testiä valitessa on huomioitava koehenkilön ikä, kunto- taso ja terveydentila. Esimerkiksi maksimaalista testiä ei ole turvallista eikä mielekäästä tehdä ylipainoiselle aiemmin liikuntaa harrastamattomalle yli 60-vuotiaalle henkilölle. Yleisinä vasta-aiheina kuntotestiin osallistumiselle pidetään vaikeita kevyessä kuormi- tuksessa oireita aiheuttavia sydän- ja verenkiertoelimestön, keuhkojen sekä tuki- ja lii- kuntaelimestön sairauksia tai häiriötiloja (ACSM 2000. 50-52). Taulukossa 1 on esitetty kuntotestien ehdottomat ja suhteelliset vasta-aiheet. Myös epätasapainossa olevat ai- neenvaihdunnan sairaudet (kuten diabetes) ja tulehdustilat (esim. flunssa) tulee hoitaa ennen testien tekemistä. Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että mikäli koehenkilö ei jostain syystä tunne oloaan hyväksi tai normaaliksi, ei testiä ole syytä tehdä. (Kallinen 2004.)

Taulukko 1. Kuntotestauksen vasta-aiheet (ACSM 2000).

Ehdottomat	Suhteelliset
Tuore EKG-muutos	Elektrolyyttitasapainon häiriöt
Epästabiili sepelvaltimotauti	Vas. sepelvaltimon päärungon ahtauma
Kontrolloimattomat sydämen rytmihäiriöt	Kohtalainen sydämen läpän ahtauma
Vaikea-asteinen oireinen aorttastenoosi	Vaikea häiriö eteis-kammio johtumisessa
Kontrolloimaton oireinen sydämen vajaatoiminta	Sydämen kammion pullistuma
Akuutti keuhkoveritulppa tai keuhkoinfarkti	Sydämen tiheä- tai harvalyöntisyys
Akuutti sydänlihastulehdus tai sydänpussin tulehdus	Kontrolloimaton aineenvaihdunnan sairaus
Valtimopullistuma, jossa repeytymisen vaara	Vaikea verenpainetauti
Akuutit infektiot	Veren ulosvirtausta estävät tilat
	Hermoston ja lihaksjärjestelmän, tuki- ja liikuntaelinten tai reumaattinen sairaus, joka voisi pahentua fyysisessä kuormituksessa

5 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Hyvän fyysisen kunnon merkitys yksilön terveyteen ja toimintakykyyn on osoitettu monin tutkimuksin. Kuntotestauksen yksi tavoitteista on motivoida huolehtimaan fyysisestä kunnostaan ja sitä kautta ennaltaehkäistä monia sairauksia. Tämän hetkiset fyysisiä ponnisteluja vaativat kuntotestausmenetelmät eivät kuitenkaan motivoi vähän liikkuvia ihmisiä, mikä edelleen vaikuttaa heidän pysymiseensä in-aktiiveina. Ballistokardiografia nopeana ja vaivattomana testitapana voisi ratkaista tämän ongelman.

Aiemmat tutkimukset osoittavat, että BKG-analyysi pystyy havaitsemaan kestävyystyyppisen harjoittelun vaikutukset. Sen sijaan yksittäisen mittauksen soveltumisesta kuntotason arviointiin ei ole pystytty todistamaan. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää 1) soveltuuko BKG verenkiertoelimistön kunnon ja sitä kautta kestävyyskunnan kertaluonteiseen mittaamiseen, 2) vaikuttaako kuntoilu BKG:ssa tapahtuviin muutoksiin, ja lisäksi 3) tutkimuksen tavoitteena on tukea siinä käytetyn mittauslaitteiston jatkokehitystyötä ja löytää BKG-tuolin keskeisimmät kehityskohteet.

Vastauksia halutaan löytää kysymyksiin:

- a) ovatko tutkimuksessa analysoidut muuttujat (IJ-amplitudi, IJ-teho ja taajuusspektrin painopiste) kuntotason määrittämisen kannalta oleellisia
- b) onko maksimaalisen hapenottokyvyn ja yksittäisestä kertamittauksesta saatavien BKG-muuttujien välillä yhteys
- c) onko kuntoilun seurauksena maksimaalisessa hapenottokyvyssä tapahtuneiden muutosten ja BKG-muuttujissa tapahtuneiden muutosten välillä yhteyttä

6 AINEISTO JA MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä toimivat Kuntokatsastusasema –hankkeen pilotoinnissa mukana olleet 108 vapaaehtoista Kainuun alueelta. Hankkeessa kokeiltiin uudenlaista helposti lähestyttävää kuntotestauksen ja –ohjauksen konseptia, minkä vuoksi pilottiryhmään tavoiteltiin eri-ikäisiä ja eri kuntotasoisia omasta fyysisestä kunnostaan kiinnostuneita osallistujia. Kuntokatsastuksissa testipatteri oli varioitu lihaskuntotestien osalta, minkä vuoksi pilotointiryhmä jaettiin työikäisiin (21-60-vuotiaat) ja senioreihin (61-84-vuotiaat). Työikäiset koehenkilöt (N=67) rekrytoitiin kutsukirjeellä teknologiapuisto Snowpoliksen yrityksistä ja yhteistyötahoilta, seniorit (N=41) tulivat pääasias- sa Ristijärvellä toimivan Seniorpoliksen kautta. Koehenkilöt osallistuivat kokeiluun vapaaehtoisesti eikä heille maksettu siitä korvausta. Kuntoilujakson ja kuntokatsastukset koehenkilö sai keskeyttää niin halutessaan. Koehenkilöistä miehiä oli 38,9% ja naisia 61,1% keski-ään ollessa 53 vuotta. Taustatiedot (taulukko 2) on kerätty alkumittausten yhteydessä kesäkuussa 2007.

Taulukko 2. Koehenkilöiden taustatiedot (***) p<0.001, erot miesten ja naisten välillä)

	keskiarvo ± SD	Minimi	Maksimi	p
Ikä [v] (N=108)	53.4 ± 13.9	21.0	84.0	
miehet (N=42)	52.4 ± 13.6	29.0	82.0	
naiset (N=66)	54.0 ± 14.1	21.0	84.0	
Pituus [cm]	168.2 ± 10.0	145.0	195.0	***
miehet	176.3 ± 9.1	158.0	195.0	
naiset	163.1 ± 6.7	145.0	177.0	
Paino [kg]	76.3 ± 15.1	49.4	127.1	***
miehet	83.3 ± 16.9	57.3	127.1	
naiset	71.8 ± 12.0	49.4	103.1	
BMI [kg/m²]	26.9 ± 4.2	19.3	37.9	
miehet	26.6 ± 3.7	21.7	35.3	
naiset	27.0 ± 4.5	19.3	37.9	

Tutkimuksessa tarkasteltiin kuntoilun vaikutuksia BKG-ominaisuuksiin. Ilmenneiden teknisten ongelmien vuoksi kunnollista BKG-dataa ei saatu koko otokselle, joten seurantaryhmä (N=25) valittiin sattumanvaraisesti niiden koehenkilöiden joukosta, joiden datat alku- ja 4 kk jakson jälkeisissä mittauksissa olivat luotettavasti analysoitavissa. Laitteistovian vuoksi loppumittauksista ei saatu enää lainkaan vertailukelpoista aineistoa. Seurantaryhmän koehenkilöistä miehiä oli 40% ja naisia 60% keski-ikänsä ollessa 51 vuotta. Pienen otoksen vuoksi ryhmän tuloksia ei ole tarkasteltu erikseen sukupuolen tai ikäryhmien mukaan. Taulukosta 3 havaitaan, että seurantaryhmä edustaa melko hyvin koko otosta.

Taulukko 3. Seurantaryhmän taustatiedot (** p<0.01, ero miesten ja naisten välillä).

	keskiarvo ± SD	Minimi	Maksimi	p
Ikä [v] (N=25)	51.0 ± 13.4	21.0	78.0	
miehet (N=10)	47.2 ± 10.8	32.0	70.0	
naiset (N=15)	53.5 ± 14.7	21.0	78.0	
Pituus [cm]	168.9 ± 10.0	154.0	195.0	**
miehet	177.3 ± 12.2	158.0	195.0	
naiset	163.3 ± 6.7	154.0	177.0	
Paino [kg]	77.8 ± 14.3	53.4	105.8	
miehet	81.3 ± 15.2	57.3	105.8	
naiset	75.4 ± 13.6	53.4	103.1	
BMI [kg/m²]	27.2 ± 3.8	22.5	37.9	
miehet	25.7 ± 2.2	23.0	28.6	
naiset	28.2 ± 4.4	22.5	37.9	

6.2. Kuntokatsastuksen mittausprotokolla

Ensimmäinen Kuntokatsastus eli alkumittaus suoritettiin kesäkuussa 2007, toinen katsastus (4 kk -mittaus) ajoittuu saman vuoden loka-marraskuulle. Ennen saapumistaan kuntokatsastukseen koehenkilöt saivat kutsukirjeen, jonka mukana he saivat ohjeet kuntotestiin valmistautumiseksi (liite 1). Kuntokatsastukset suoritettiin 6-8 henkilön ryhmissä ja paikalle saavuttaessa koehenkilöt täyttivät ensimmäiseksi taustatieto- ja suosituskyselyn (liite 2), jonka avulla kartoitettiin mahdollisia vasta-aiheita kuntotestiin osallistumiselle. Mikäli riskitekijöitä ilmeni, testien suorittamisesta päätettiin yhdessä koehenkilön, kuntokatsastajan sekä paikalla olleen lääkärin kesken.

Kuntokatsastus koostui erilaisista testeistä (liite 3), joita koehenkilöt suorittivat satunnaisessa järjestyksessä kuitenkin niin, että polkupyöraergometritesti oli aina viimeisenä. Lisäksi alku- ja loppumittausten yhteydessä osallistujat täyttivät motivoitumista ja Kuntokatsastus-konseptia koskevan palautekyselyn. Polkupyöraergometritestiä lukuun ottamatta kuntokatsastus suoritettiin luokkatilassa. Kuntokatsastajina toimi fysioterapeutti, liikunnanohjaaja, terveydenhoitaja, testiaseman henkilökunta sekä avustajina muita tehtäviin koulutettuja henkilöitä. Testiosioiden jälkeen ryhmä kokoontui yhteiseen testipalautetilaisuuteen. Kokonaisuudessaan yksi katsastuskerta kesti noin kaksi tuntia ja se sisälsi seuraavat osiot: verenpaineen, vyötärön ympäryksen ja pituuden mittaus, kehonkoostumusmittaus, BKG-mittaus, tasapainomittaus, lihaskuntotestit sekä pp-ergotesti. Alla on kuvattuna tutkimuksen kannalta oleelliset osiot eli BKG-mittaus ja pp-ergotesti.

BKG-mittaus. Ennen mittausta laite kalibrointiin 10 kg punnuksen avulla. Koehenkilö istutettiin BKG-tuoliin ja neuvottiin istumaan mahdollisimman syväälle niin, että selkä olisi selkänojaa vasten ja kädet lepäsivät luontevasti käsinojien elektrodien päällä. Niskatuki säädettiin sopivalle korkeudelle. Koehenkilölle selostettiin mittauksen kulku ja häntä pyydettiin istumaan tuolissa mahdollisimman rentona ja liikkumatta. Mittaus käynnistettiin, kun koehenkilö oli rentoutunut. Dataa tallennettiin yhden minuutin ajan, joista viimeiset kymmenen sekuntia hengitystä pidättäen. Testaaja pyysi vetämään keuhkot täyteen ilmaa ja ajasti pidätyksen keston laskien viimeiset sekunnit ääneen. Mittauslaitteisto on kuvattu tarkemmin myöhemmin.

Polkupyöraergometritesti. Maksimaalista hapenottokykyä mitattiin Tunturin E60-polkupyörillä Fitware Pro –ohjelmistoa käyttäen. Kuormaa nostettiin 3 minuutin välein 20 watin korotuksilla. Testi suoritettiin Kuntokatti-testiasemalla koulutetun henkilökunnan toimesta. Koko 6-8 henkilön ryhmä testattiin samanaikaisesti. Koehenkilön maksimisyke arvioitiin iänmukaisesti (220 – ikä). Testi suoritettiin submaksimaalisena, mutta halutessaan ja voinnin salliessa koehenkilö sai polkea uupumukseen saakka. Fitwaren testituloste kertoi mm. arvion koehenkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä ja Shvartz & Reinboldin (liite 4) jaottelun mukaisen kuntoluokan.

6.3 BKG mittauslaitteisto

Tutkimuksen ja samalla kuntokatsastuksen BKG-mittauksen mittauslaitteisto käsittää BKG-tuolin, vahvistimen sekä PC:lle tehdyn käyttöliittymän.

BKG-tuoli on TKK:lla tutkimuskäyttöön rakennettu prototyypiversio (kuva 13). Tuoli sisältää neljä venymäliuska-anturia, jotka on sijoitettu leveään ja jäykkään pohjalustaan. Alusta mahdollistaa tuolin liikuttamisen, mutta on kuitenkin tukeva estääkseen altistumista ympäristöstä tulevalle tärinälle. Massakeskipiste on tasapainotettu kaikille neljälle anturille. Venymäliuskat mittaavat pystysuoria voimia ja ne toimivat vaa'an tavoin mitaten sydämen toiminnan aiheuttamat muutokset kehon painossa. BKG-signaali tallentuu nelikanavaisesta datasta summattuna voima-ballistokardiogrammiksi. Raakadatassa voi kuitenkin esiintyä sekä korkeataajuisia kohinaa, että muista kuin pystysuuntaisista kardiovaskulaarisista voimista syntyneitä matalataajuisia komponentteja. EKG-elektrodeina toimivat käsinojiin sijoitetut metallianturit (kuva 12). Tuolin istuinosa on suunniteltu yhteistyössä TKK:n ja Helsingin yliopiston Teollisen muotoilun laitoksen kanssa. Materiaalina on käytetty istujan vartalonmuotoihin mukautuvaa polyuretaania. Käsinojatyyntyt ja niskatuki ovat säädettävissä tarrakiinnityksen avulla.

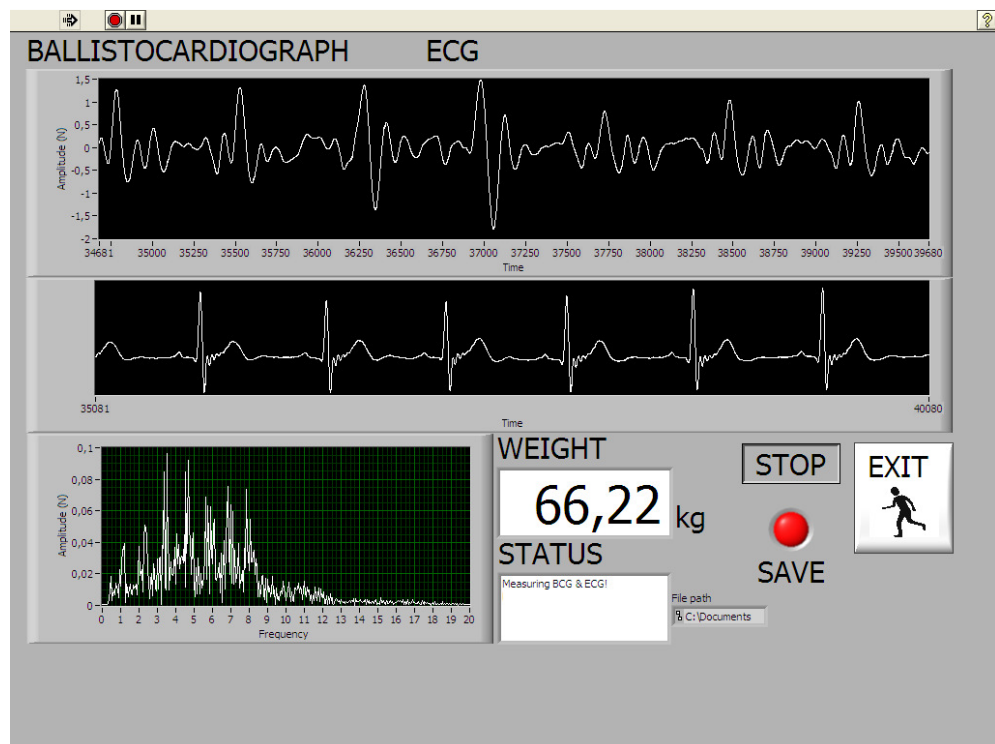


KUVA 12. TKK:lla rakennetussa BKG-tuolissa EKG-anturit on upotettu käsinojiin.

Myös vahvistin on rakennettu TKK:n laboratoriossa. Sen -3 dB piste on 100 Hz kohdalla, jonka jälkeen vaimennus on 80 dB kymmenystä kohden. Vahvistus on säädettävissä

110 ja 130 dB välille. Keho painosta aiheutuva suuri DC-komponentti on vähennetty signaalista ennen vahvistusta.

Mittauslaitteisto toimii National Instruments'in LabVIEW:n avulla ohjelmoidun käyttöliittymän avulla. Ohjelmassa on toiminnot laitteiston kalibroinnille, koehenkilön punnitukselle sekä datan keräykselle. Mittausnäkyvästä (kuva 13) ilmenee reaaliaikaisesti BKG- ja EKG-käyrät, BKG spektri sekä koehenkilön paino.



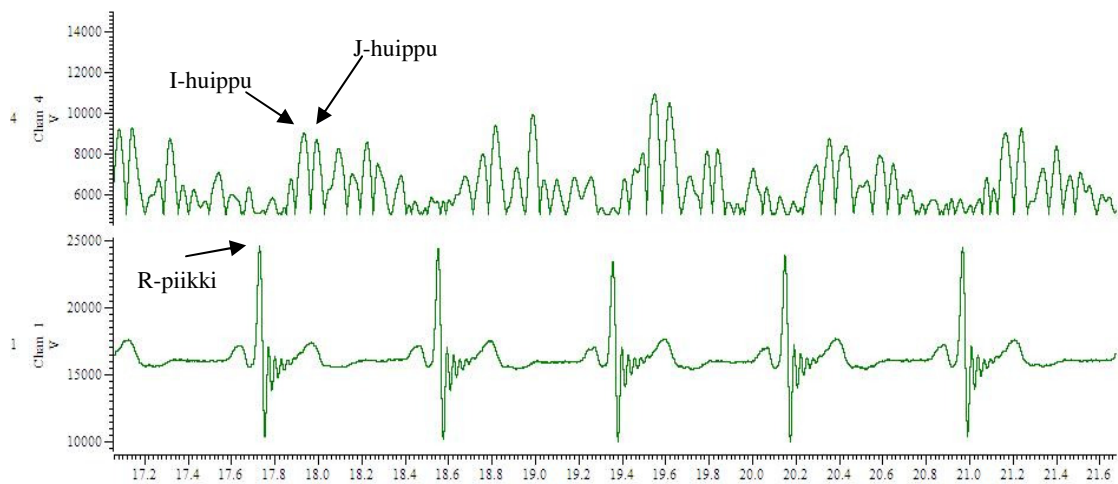
KUVA 13. Esimerkinäkymä käyttöliittymästä mittaustilanteessa

6.4. Datan analysointi

LabVIEW:llä tallennettu raakadata muunnettiin tekstitiedostoksi ja analysoitiin Spike2 5.07 -ohjelmistolla. Spike:n (CED, Cambridge, Englanti) näkymässä (kuva 14) oli BKG-aalto tasasuunnattuna sekä samanaikainen EKG-aalto. Kustakin minuutin keräyksestä valittiin edustava 10 sekunnin otos, josta analysoitiin leposyke, keskimääräinen IJ-käyrän amplitudin korkeus (IJ-voima), keskimääräinen IJ-käyrän teho sekä BKG-taajuusspektrin painopiste. IJ-käyrä valittiin tarkasteltavaksi kohteeksi, koska sen muoto on tunnistettavissa ja aiempien tutkimusten valossa on keskeinen tekijä sydämen pump-

pauskyvyn määrittelyssä. Muuttujiksi valittiin amplitudin korkeuden lisäksi käyrän jyrkkyyttä kuvaava teho sekä spektri, jota on myös aiemmin tutkittu kuntoilun seurannassa. Leposykkeen tarkastelulla avulla pyrittiin varmistamaan, että koehenkilö on rentoutuneena. Lisäksi korkea (yli 90 1/min) syketaajuus saattaa summata BKG-komplekseja toisiinsa ja tekee mittaustuloksesta epäluotettavamman (Smith 1974).

Mittaustilanteessa koehenkilö pidätti hengitystään viimeisen kymmenen sekuntia. Tätä dataa ei kuitenkaan pystytty hyödyntämään sen heikon laadun vuoksi. Muutoinkin dataassa esiintyi leikkaantumista ja muita häiriöitä, joten analysointi päätettiin tehdä silmämääräisenä tarkasteluna komponentti komponentilta Spiken kursori-toimintoa käyttäen. Luvut syötettiin Excel-taulukkoon.



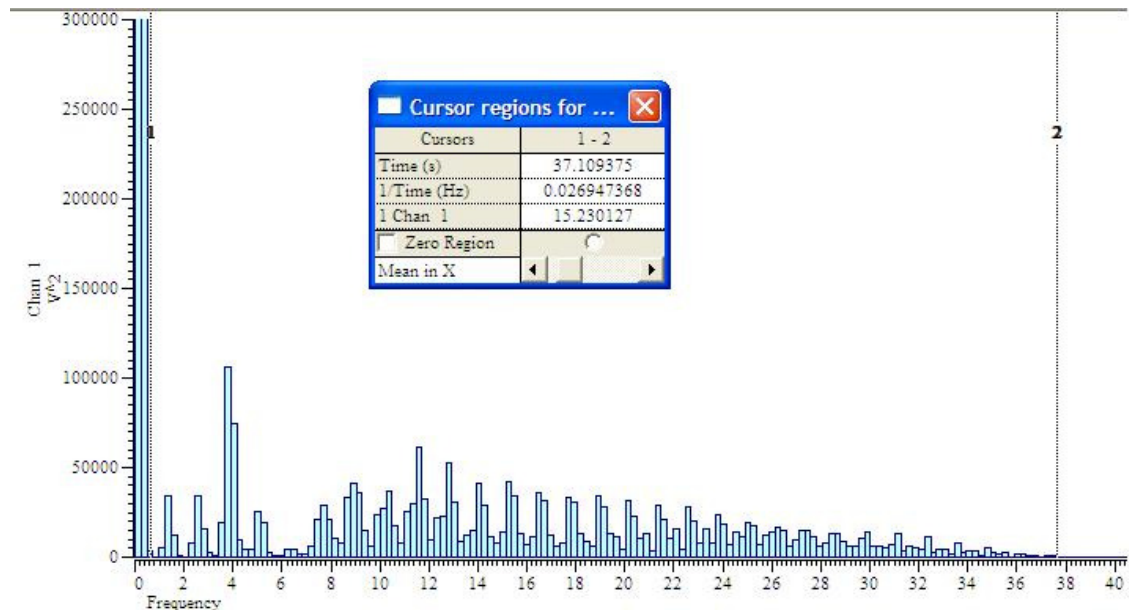
KUVA 14. Esimerkki analysoitavasta datasta Spike:n näkymässä.

Leposyke. Leposyke laskettiin EKG-käyrän R-piikkien perusteella.

IJ-amplitudi. IJ-käyrän amplitudin korkeus (IJ-voima) määriteltiin tunnistamalla valitun 10 sekunnin otoksesta kunkin BKG-kompleksin I- ja J-huiput. Sydämen sykkeestä riippuen analysoitavia komplekseja oli 8-13, joista laskettiin keskiarvo.

IJ-teho. IJ-käyrän jyrkkyys eli teho laskettiin IJ-amplitudin ja IJ-nousuun kuluneen ajan suhteena. Keskiarvo laskettiin analysoidusta otoksesta.

Taajuusspektri. BKG-taajuusspektristä määritettiin painopiste Spike:n spektri-toiminnon avulla. Valittu 10 sekunnin otos muunnettiin aikatasosta taajuustasoon Fourier-muunnoksella (FFT), jossa sovellettiin 4096 aikapisteen Hamming-ikkunointia 0.2441 Hz resoluutiolla. Painopiste määriteltiin X-akselin keskiarvona MPf (Mean Power frequency). Matalimmat taajuudet olivat todennäköisesti BKG-aaltoon kuuluvia komponentteja, joten niitä ei huomioitu taajuustarkastelussa (kuva 15).



KUVA 15. BKG-taajuusspektrin painopisteen määrittäminen. Matalimpia taajuuksia ei huomioidu.

6.5 Kuntoilujakso

Seurantaryhmässä olleiden harjoittelua 4 kk aikana ei ohjeistettu, vaan koehenkilöt saivat liikkua haluamallaan tavalla. Liikuntasuoritukset kirjattiin pisteinä nettipohjaiseen etävalmennuspalveluun, jonka kautta valmentaja saattoi antaa liikuntasuosituksia. Kaikki seurantaryhmäläiset harrastivat liikuntaa kuntoilujakson aikana, mutta harjoittelumääriä ja liikuntamuotoja ei ole huomioitu erikseen tässä tutkimuksessa.

6.6 Tilastollinen analyysi

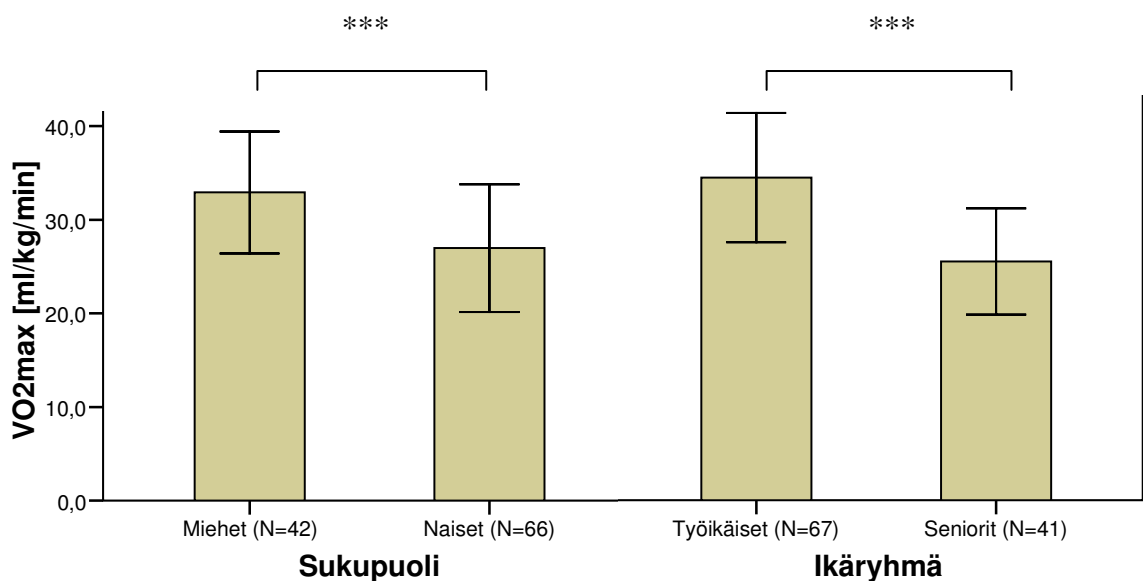
Tilastolliseen tarkasteluun käytettiin SPSS 15.0 –ohjelmaa. Muuttujista laskettiin koko ryhmää koskevat keskiarvot ja –hajonnat (keskiarvo \pm SD). Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin riippumattomien ryhmien T-testillä. Maksimaalisen hapenottokyvyn ja BKG-muuttujien välisten yhteyksien arviointiin käytettiin Pearsonin korrelaatioanalyysiä. Seurantaryhmän ensimmäisten ja toisten kuntokatsastusten tulosten analysoinnissa käytettiin verrannollisten parien T-testiä.

Hapenottokyvyn mukaisesti kuntoluokkiin jaettujen ryhmien välinen vertailu tehtiin yksisuuntaista varianssianalyysiä (ANOVA) käyttäen. Tuloksia analysoitiin vielä jakamalla seurantaryhmän koehenkilöt tertiileihin hapenottokyvyn muutoksen mukaisesti (luokka 1: $\Delta\text{VO}_2\text{max}<2.9\%$, luokka 2: $2.95\%\leq\Delta\text{VO}_2\text{max}\leq7.85\%$, luokka 3: $\Delta\text{VO}_2\text{max}>7.85\%$) ja tarkastelemalla näiden luokkien välisiä eroja kunkin tutkitun BKG-muuttujan suhteen yksisuuntaisella varianssianalyysillä.

7 TULOKSET

Seuraavassa on esitelty mittaustulokset jaoteltuna koko 108 koehenkilön otosta käsitteleviin alkumittausten tuloksiin sekä kunnonkehitystä tutkiviin tuloksiin, jotka vertailevat seurantaryhmän alkumittausten ja 4 kk -mittausten välisten tulosten muutoksia.

Fyysiseltä kunnoltaan ($VO_2\max$) koehenkilöiden ryhmä on keskitasoa. Ryhmien väliset erot hapenottokyvyssä on esitetty kuvassa 16, josta havaitaan, että ryhmän miehet ovat keskimäärin parempikuntoisia kuin naiset ($5.9\pm 1,3$ ml/kg/min, $p<0.001$) ja ikäryhmittäin jaoteltuna työikäiset ovat senioreita paremmassa kunnossa ($8.4\pm 1,2$ ml/kg/min, $p<0.001$).



KUVA 16. Hapenottokyky sukupuolen ja ikäryhmän mukaisesti jaoteltuna (***) $p<0.001$).

7.1 Kertaluonteisten mittausten tulokset

Alkumittausten tulokset käsitellään kertaluonteisena mittauksena. Tuloksista on tarkasteltu BKG-muuttujien soveltuvuutta kuntotason määrittämiseen sekä BKG-muuttujien riippuvuutta maksimaaliseen hapenottokykyyn. Korrelaatioita on tarkasteltu myös rajattuna työikäisten ryhmään.

7.1.1 BKG-muuttujien tarkastelu

Taulukkoon 4 on koottu BKG-muuttujien keskiarvot koko otokselle sekä sukupuolen ja iän mukaisesti jaoteltuna.

Taulukko 4. Alkumittausten BKG-muuttujien keskiarvo \pm SD sekä minimi ja maksimi koko otokselle (N=108) sekä ryhmiin jaettuina sukupuolen ja ikäryhmän mukaisesti (***) p<0.001, * p<0.05, erot miesten ja naisten välillä).

	keskiarvo \pm SD	Minimi	Maksimi	p
Leposyke [1/min] (N=108)	78.6 \pm 13.6	48	119	
miehet (N=42)	76.7 \pm 12.1	48	115	
naiset (N=66)	79.28 \pm 14.4	48	119	
työikäiset (N=67)	80.3 \pm 13.2	55	119	
seniorit (N=41)	75.3 \pm 13.9	48	114	
IJ-amplitudin korkeus (N)	1.58 \pm 0.48	0.46	3.25	
miehet	1.86 \pm 0.46	1.14	3.25	***
naiset	1.40 \pm 0.40	0.46	3.08	
työikäiset	15925 \pm 4559	7595	27965	
seniorit	15529 \pm 5255	4629	32493	
IJ-teho (W)	255 \pm 81	121	538	
miehet	288 \pm 73	194	538	***
naiset	233 \pm 78	121	528	
työikäiset	244 \pm 73	121	428	
seniorit	275 \pm 90	136	538	
Spektrin painopiste [Hz]	8.5 \pm 2.0	5.9	15.9	
miehet	9.2 \pm 2.2	6.2	15.9	*
naiset	8.1 \pm 1.7	5.9	15.3	
työikäiset	8.2 \pm 1.4	6.2	12.9	
seniorit	9.1 \pm 2.7	5.9	15.9	

Leposyke oli miehillä hieman alhaisempi kuin naisilla ja työikäisillä hieman korkeampi kuin senioreilla. Tilastollisesti merkitsevää eroa ei kuitenkaan ollut.

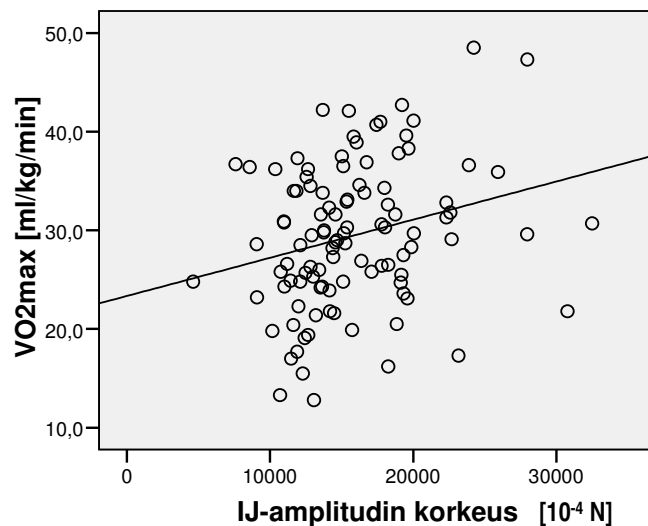
IJ-amplitudin korkeus oli miehillä suurempi ($p < 0.001$) kuin naisilla. Työikäisillä amplitudi oli hieman senioreita suurempi, mutta tilastollisesti merkitsevää eroa ei löydetty.

IJ-käyrän teho oli miehillä selvästi naisia suurempi ($p < 0.001$). Senioreilla teho oli puolestaan työikäisten ryhmää suurempi, ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevästi.

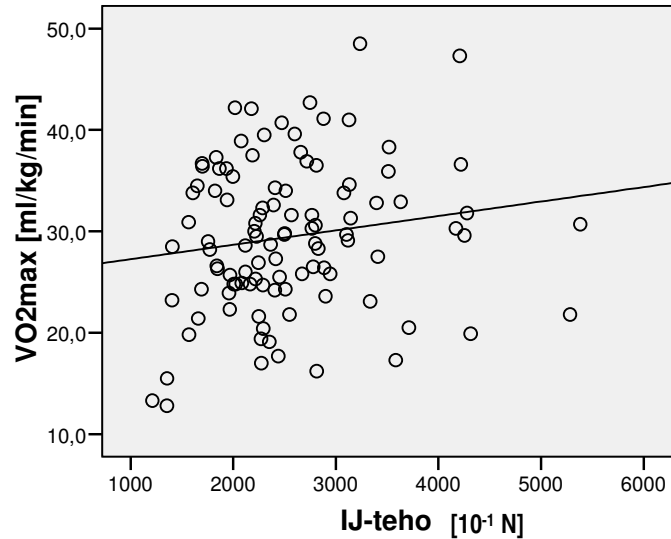
Taajuusspektrin painopiste oli miehillä hieman naisia korkeammilla taajuuksilla ($p < 0.05$), kun taas työikäisillä hieman senioreita alhaisemmilla taajuuksilla. Työikäisten ja senioreiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa.

7.1.2 BKG-muuttujien korrelaatio maksimaaliseen hapenottokykyyn

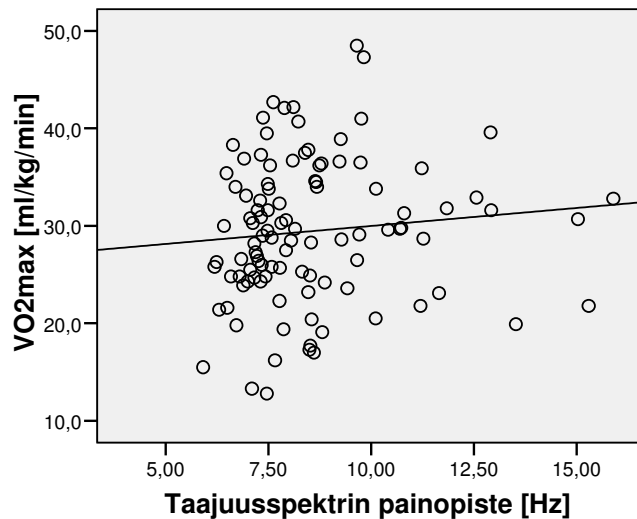
Alkumittauksista saaduista koko otoksen tuloksista on tarkasteltu ($N=108$) BKG-muuttujien yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ($r=0.245$, $p < 0.01$) löydettiin IJ-amplitudin korkeuden ja hapenottokykyyn välille (kuva 17). Kuvassa 18 on esitetty hapenottokyvyn yhteys IJ-tehoon ($r=0.157$, $p=n.s.$) ja kuvassa 19 taajuusspektrin painopisteeseen ($r=0.101$, $p=n.s.$).



KUVA 17. IJ-amplitudin korkeuden ja maksimaaliseen hapenottokykyyn positiivinen korrelaatio ($r=0.245$, $p < 0.01$, $N=108$).

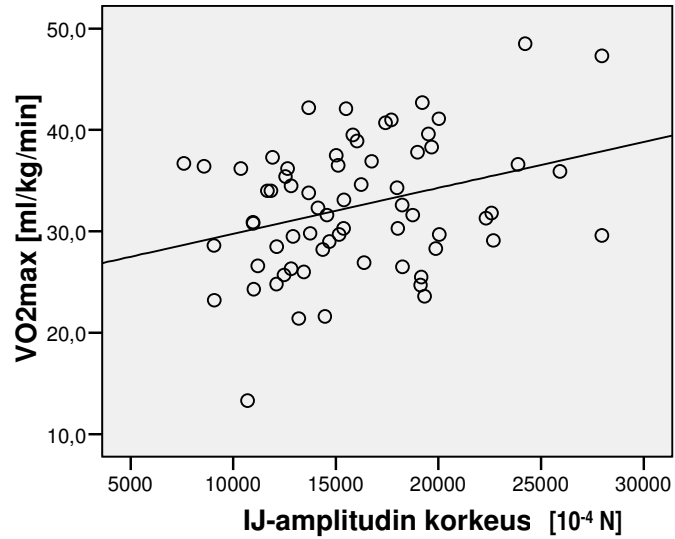


Kuva 18. IJ-tehon yhteys maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ($r=0.157$, $p=n.s.$, $N=108$).

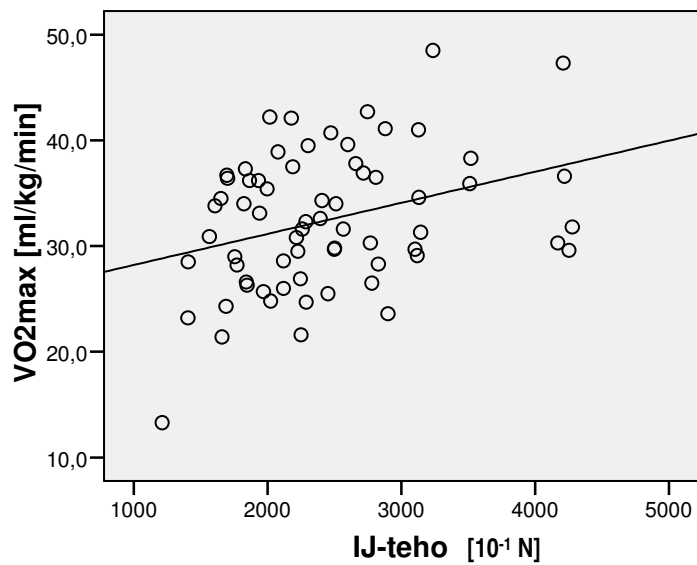


KUVA 19. Taajuusspektrin painopisteen yhteys maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ($r=0.101$, $p=n.s.$, $N=108$).

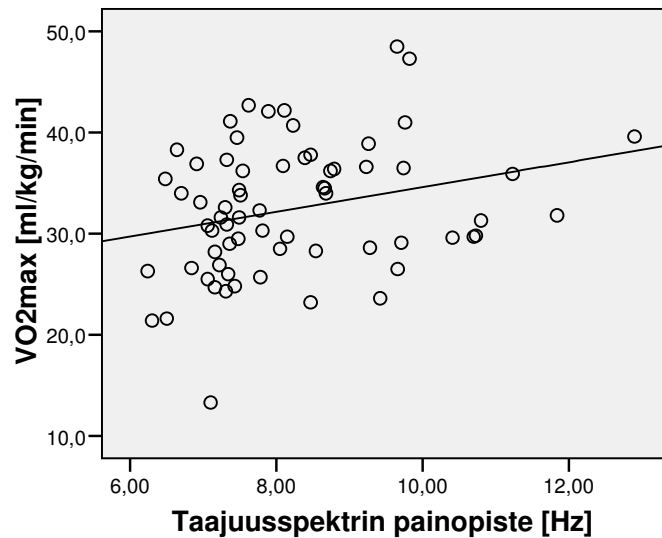
Kun otos rajataan koskemaan pelkästään työikäisiä ($N=67$), muuttujien välillä on selkeämpiä yhteyksiä. Tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio löydettiin hapenotto-kyvyn ja IJ-amplitudin ($r=0.318$, $p<0.01$, kuva 20) sekä IJ-tehon ($r=0,331$, $p<0.01$, kuva 21) välille. Myös hapenotto-kyvyn ja taajuusspektrin painopisteen välillä korrelaatio oli merkitsevä ($r=0.266$, $p<0.05$) (kuva 22).



KUVA 20. IJ-amplitudin korkeuden ja maksimaaliseen hapenottokyvyn välinen korrelaatio työikäisillä ($r=0.318$, $p<0.01$, $N=67$).



KUVA 21. IJ-tehon ja maksimaaliseen hapenottokyvyn välinen korrelaatio työikäisillä ($r=0.331$, $p<0.01$, $N=67$).



KUVA 22. Taajuusspektrin ja maksimaaliseen hapenottokyvyn välinen korrelaatio työikäisillä ($r=0.266$, $p<0.05$, $N=67$).

7.2 Muutokset kuntoilun seurauksena

Noin neljä kuukautta kestäneen kuntoilun seurauksena tapahtuneita muutoksia tarkastellaan vertailemalla alkumittausten ja 4 kk -mittausten tulosten välisiä eroja seurantaryhmän osalta.

7.2.1 Muutosten tarkastelu

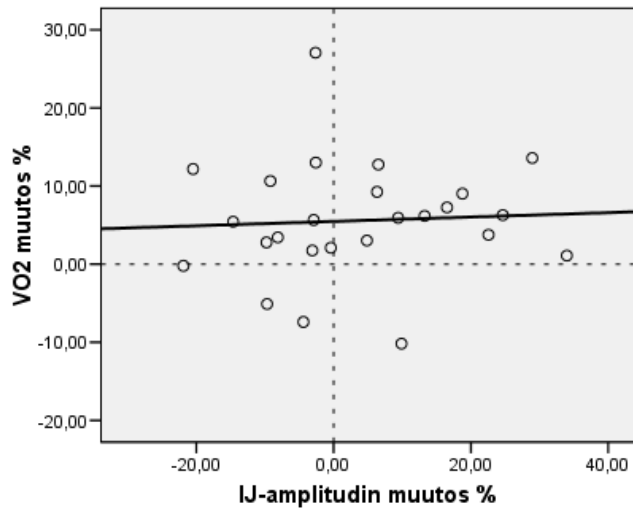
Parillisen T-testin mukainen tarkastelu on esitetty taulukossa 5. Kuntoilun seurauksena leposyke ($p=n.s.$) ja paino ($p<0.05$) laskivat, hapenottokyky ($p<0.001$) parantui, IJ-amplitudi ($p=n.s.$) ja IJ-teho ($p=n.s.$) kasvoivat sekä taajuusspektrin painopiste ($p<0.001$) siirtyi korkeammille taajuuksille.

Taulukko 5. Muutokset tuloksissa alku- ja 4 kk –mittausten välillä (*** p<0.001, * p<0.05, erot alkumittausten ja 4 kk –mittausten välillä).

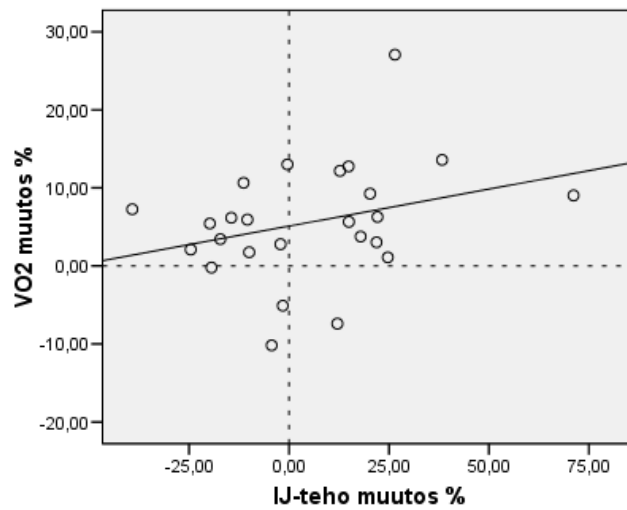
N=25	keskiarvo ± SD	p
Δ paino [kg]	-1.1 ± 2.1	
Δ paino [%]	-1.4 ± 2.8	*
Δ VO ₂ max [ml/kg/min]	1.6 ± 1.8	
Δ VO ₂ max [%]	5.6 ± 7.5	***
Δ leposyke [1/min]	-1.3 ± 7.5	
Δ leposyke [%]	-1.7 ± 9.9	
Δ IJ-amplitudin korkeus [N]	0.02 ± 0.23	
Δ IJ-amplitudin korkeus [%]	3.4 ± 15.0	
Δ IJ-teho [W]	1.6 ± 55	
Δ IJ-teho [%]	4.9 ± 23.7	
Δ spektrin painopiste [Hz]	2.3 ± 2.5	
Δ spektrin painopiste [%]	39.1 ± 35.7	***

7.2.2 Muutosten korrelaatiot hapenottokykyyn

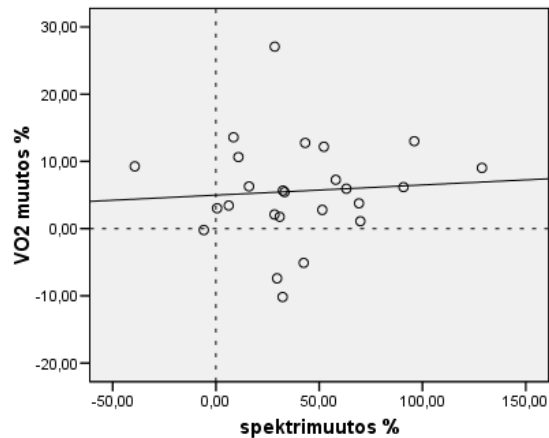
Hapenottokyvyn muutoksen ja BKG-muuttujissa tapahtuneiden muutosten välille ei löydetty tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. IJ-amplitudin muutoksen (r=0.056, p=n.s.) hapenottokyvyn muutokseen on esitetty kuvassa 23, IJ-tehon muutoksen korrelaatio (r=0.298, p=n.s.) kuvassa 24 ja spektrin painopisteen korrelaatio (r=0.072, p=n.s.) kuvassa 25.



KUVA 23. IJ-amplitudin ja hapenottoyvyn muutosten välinen yhteys alku- ja 4 kk -mittausten välillä ($r=0.056$, $p=n.s.$, $N=25$).



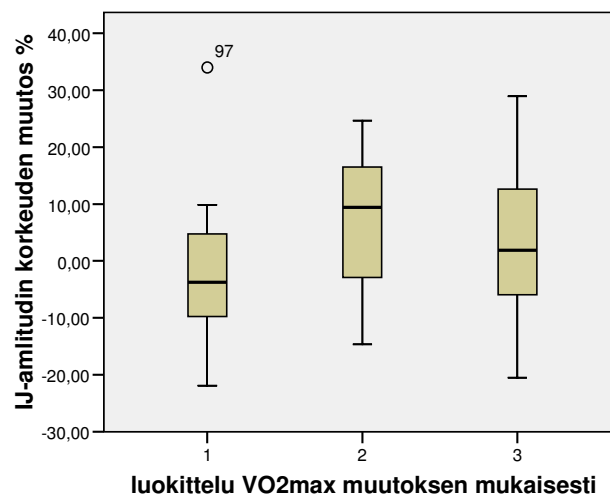
KUVA 24. IJ-tehon ja hapenottoyvyn muutosten välinen yhteys alku- ja 4 kk -mittausten välillä ($r=0.298$, $p=n.s.$, $N=25$).



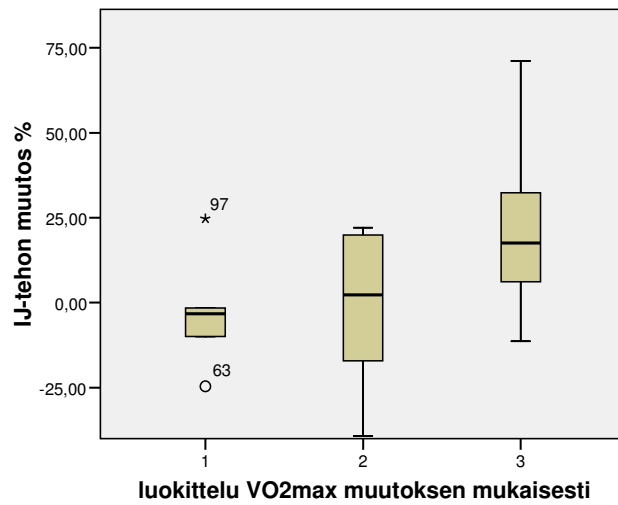
KUVA 25. Taajuusspektrin painopisteen ja hapenottokyvyn muutosten välinen yhteys alku- ja 4 kk -mittausten välillä ($r=0.072$, $p=n.s.$, $N=25$).

7.2.3 Kuntomuutosluokkien välinen tarkastelu (ANOVA)

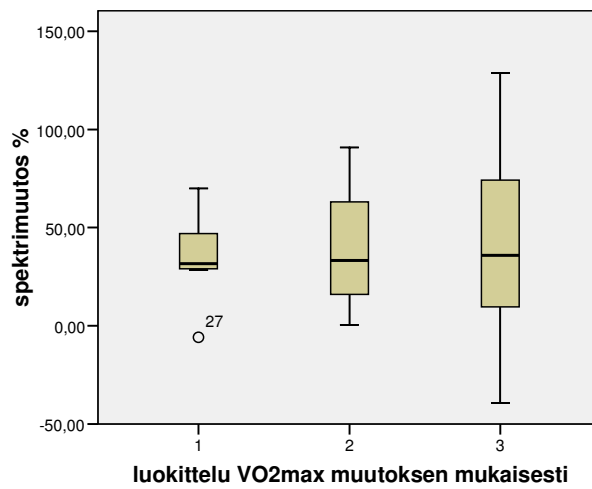
Hapenottokyvyn mukaisesti jaettujen luokkien välille ei löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja minkään muuttujan osalta. IJ-amplitudin muutokset ($p=n.s.$) hapenottokyvyn muutoksen mukaan jaetuille luokille on esitetty kuvassa 26, IJ-tehon muutokset ($p=n.s.$) kuvassa 27 ja muutokset spektrin painopisteessä ($p=n.s.$) kuvassa 28.



KUVA 26. Boxplot-kuvaaja muutoksista IJ-amplitudissa (%) VO_2max muutoksen mukaisesti jaetuille luokille (luokka 1 ($N=8$): $\Delta VO_2max < 2.95\%$, luokka 2 ($N=9$): $2.95\% \leq \Delta VO_2max \leq 7.85\%$, luokka 3 ($N=8$): $\Delta VO_2max > 7.85\%$, $N=25$).



KUVA 27. Boxplot-kuvaaja muutoksista IJ-tehossa (%) VO₂max muutoksen mukaisesti jaetuille luokille (luokka 1 (N=8): Δ VO₂max <2.95%, luokka 2 (N=9): $2.95\% \leq \Delta$ VO₂max \leq 7.85%, luokka 3 (N=8): Δ VO₂max >7.85%, N=25).



KUVA 28. Boxplot-kuvaaja muutoksista taajuusspektrin painopisteessä (%) VO₂max muutoksen mukaisesti jaetuille luokille (luokka 1 (N=8): Δ VO₂max <2.95%, luokka 2 (N=9): $2.95\% \leq \Delta$ VO₂max \leq 7.85%, luokka 3 (N=8): Δ VO₂max >7.85%, N=25).

8 POHDINTA

Tuolimallinen BKG-mittaus on testattavan kannalta miellyttävä ja helppo tapa tutkia sydämen toimintaa. Tämän vuoksi se toisi vaivattomuudellaan monia etuja kuntotason määrittämiseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää soveltuuko BKG kestävyyskunnan arviointiin. Tutkimuksessa haluttiin saada tietoa siitä soveltuuko menetelmä kertaluonteiseen mittaamiseen ja ovatko eri henkilöiden mittaustulokset vertailtavissa keskenään. Yksittäisen kertamittauksen soveltuvuutta haluttiin selvittää tutkimalla maksimaalisen hapenottokyvyn ja eri BKG-muuttujien välisiä yhteyksiä. Samalla pyrittiin selvittämään ovatko tutkimuksessa analysoidut muuttujat (IJ-amplitudi, IJ-teho ja taajuusspektrin painopiste) kuntotason määrittämisen kannalta oleellisia. Lisäksi haluttiin tutkia kuntoilun seurauksena tapahtuvia muutoksia BKG-muuttujissa. Tätä selvitetiin tutkimalla onko maksimaalisessa hapenottokyvyssä tapahtuneiden muutosten ja BKG-muuttujissa tapahtuneiden muutosten välillä yhteyttä. Yksi tutkimuksen tavoitteista oli löytää käytetyn mittauslaitteiston, BKG-tuolin, keskeisimmät kehityskohteet. Tutkimuksen päätulokset olivat: 1) maksimaalinen hapenottokyky korreloi sekä IJ-amplitudin korkeuden, IJ-tehon että taajuusspektrin painopisteen kanssa työikäisillä 2) IJ-aallon tarkastelu näyttäisi soveltuvan sydän- ja verenkiertoelimistön kunnan arviointiin 3) BKG-tuolin keskeisimmät kehityskohteet liittyvät koehenkilön asemointiin, tekniikan luotettavuuden varmistamiseen sekä käyttöliittymän monipuolistamiseen.

BKG on summa koko kardiovaskulaarisen systeemin tuottamista voimista (Hollozy 1964). Ballistokardiogrammi on usein yksilöllinen ja siihen vaikuttavat mittaustavasta riippuen lukuisat sydämen toiminnan ulkopuoliset tekijät. Sydämen lisäksi verenkiertoelimistön toiminnassa merkittävässä roolissa ovat veren virtauskykyyn vaikuttavat tekijät kuten verenpaine ja verisuonten elastisuus (Alametsä ym. 2007). Lisäksi mittaustavasta riippuen myös kehonkoostumus, koehenkilön asento ja etenkin asennon muutokset mittauksen aikana voivat vääristää BKG-signaalia (Koskinen 2002). Tästä johtuen BKG-kompleksin eri komponenttien tunnistaminen voi olla ongelmallista (Thompson ym. 1953). Tässä tutkimuksessa näihin ulkopuolisiin tekijöihin ei kiinnitetty juuriakaan huomiota, mikä osaltaan heikensi saatujen tulosten luotettavuutta. Lisäksi hajonta

oli kauttaaltaan melko suurta, joten kaikkiin saatuihin tuloksiin on syytä suhtautua varauksella.

BKG-tutkimuksissa on pyritty minimoimaan hengityksen vaiheen vaikutusta monin eri menetelmin. Tässä tutkimuksessa se tehtiin analysoimalla 10 sekunnin otos, joka pitää sisällään sekä sisään- että uloshengitysvaiheita. Otoksen keston riittävyys varmistettiin analysoimalla kahden koehenkilön datasta koko 50 sekunnin kestoisen lepokeräys. IJ-käyrän keskimääräinen amplitudin korkeus ja teho olivat samansuuruisia kuin valitulla 10 sekunnin pätkällä.

Aiemmat fyysiseen kuntoon liittyneet BKG-tutkimukset ovat selvittäneet pääasiassa kuntoilun seurauksena tapahtuvia muutoksia. BKG:n yksilöllisen käyttäytymisen vuoksi on arveltu, ettei menetelmä sovellu eri henkilöiden mittaustulosten vertailuun (mm. Koskinen 2002). Tässä tutkimuksessa haluttiin tarkastella löytyisikö yksittäisestä mittauksesta yhteyttä BKG:n ja hapenottokyvyn välille. Analysoitu aineisto (N=108) oli laaja, mutta mittaustilanteen vakioimattomuus ja vertailukohteena käytetty epäsuora maksimaalinen pp-ergotesti heikentävät tulosten luotettavuutta ja voivat osaltaan selittää tulosten suurta hajontaa.

Tutkimuksen tuloksista voidaan tehdä muutamia yleisiä havaintoja BKG:n ominaisuuksien yhteydestä ikään ja sukupuoleen. Sydämen toiminnassa tapahtuu muutoksia ikääntymisen vaikutuksesta, mm. leposyke laskee ja iskutilavuus pienenee, minkä johdosta myös hapenottokyky laskee (Ogawa ym. 1992). Ikääntyessä myös sydämen supistusvoima heikkenee ja tämän johdosta IJ-amplitudin on todettu pienenevän (Hollozy 1964, Smith 1974). Myös tässä tutkimuksessa senioreiden VO_2 max, leposyke sekä IJ-amplitudin korkeus olivat työikäisiä alhaisempia. Teho oli puolestaan keskimäärin hie-man työikäisiä korkeampi. Tämä puoltaa Ogawan ym. (1992) havaintoa, että sydämen toiminta mukautuu muutoksiin ja lopullinen minuuttitulavuus voi olla iästä riippumaton.

Sukupuolten välisiä eroja BKG:ssa ei ole juurikaan tutkittu. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että naisilla IJ-amplitudin korkeus ja IJ-käyrän teho ovat miehiä pienempiä ($p<0.001$) ja taajuusspektrin painopiste on alhaisemmilla taajuuksilla ($p<0.05$). Hapenottokyky oli keskimäärin miehillä naisia parempi. Tulokset tukevat Ogawan ym.

(1992) tutkimusta, jonka mukaan sukupuoli on minuuttitulavuuden kannalta keskeisin selittävä tekijä verrattuna ikään, harjoittelustaustaan tai kehonkoostumukseen.

Tässä tutkimuksessa analysoinnin kohteena ollut IJ-käyrä oli kohtuullisen luotettavasti tunnistettavissa mitatusta datasta ja saadut tulokset olivat rohkaisevia. IJ-amplitudi kuvastaa tuotetun voiman suuruutta sydämen vasemman kammion supistuksessa ja IJ-nousuaika supistuksen tehokkuutta (Alametsä ym. 2000). Muutokset taajuusspektrissä tarkoittavat muutoksia voimantuottoon kuluneessa ajassa (Harrison & Talbot 1967). Näin painopisteen siirtyessä suuremmille taajuuksille sydämen supistukseen kuluvan ajan voidaan olettaa lyhenevän. Tulosten perusteella tutkituista BKG-muuttujista IJ-amplitudin korkeus ($r=0.245$, $p<0.01$) näyttäisi olevan keskeisin selittävä tekijä määrittäessä hapenottokykyä kertaluonteisena mittauksena. Käytetyllä menetelmällä se oli suhteellisen yksiselitteisesti tunnistettavissa ja määritettävissä. Sydämen supistuskyykyyn vaikuttaa myös supistuksen nopeus, minkä vuoksi tarkasteltiin myös IJ-tehoa ja taajuusspektriä. Esim. Hanson ym. (1968) tutkimuksessa 7 kk kestäneen harjoittelun vaikutuksesta vasemman kammion tuottaman voiman kasvun lisäksi supistusaika lyheni merkittävästi. Tässä tutkimuksessa käytetyllä analysointimenetelmällä voimantuottoon kulunut aikaa ei pystytty määrittämään tarkasti, mikä heikentää voimantuottonopeuksien ja sitä kautta IJ-tehon tulosten tarkkuutta. Myös spektrin tarkasteluun liittyy omat virhelähteensä ja etenkin signaalissa ajoittain esiintynyt leikkaantuminen on voinut vääristää tuloksia. Ongelmista huolimatta kaikki tarkastellut muuttujat näyttäisivät kuitenkin käyttäytyvän samansuuntaisesti hapenottokyvyn kanssa.

BKG-muuttujien ja hapenottokyvyn väliset korrelaatiot paranivat merkittävästi, kun otos rajattiin koskemaan työikäisiä ($N=67$). Sekä IJ-amplitudin korkeus ($r=0.318$, $p<0.01$), IJ-teho ($r=0.331$, $p<0.01$) että spektrin painopiste ($r=0.266$, $p<0.05$) näyttäisivät soveltuvan verenkiertoelimistön kunnan määrittämiseen alle 60-vuotiaiden osalta. Ikääntymisen seurauksena sydämen toiminta heikkenee ja riski sairastaa verenkiertoelimistön sairauksia kasvaa (ACSM 2000). Myös BKG:ssa ilmenee muutoksia (Smith 1974). Moss (1961) havaitsi ballistokardiografisten epänormaaliuksien kasvavan selkeästi 40 ikävuoden jälkeen ja Abrams ym. (1953) mukaan jo valtaosalla yli 60-vuotiaista esiintyy normaalista poikkeavia BKG-aaltomuotoja. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat näitä havaintoja. Ikääntyneiden osalta pp-ergotulosten käyttö vertailukohteena on

hieman kyseenalaista, sillä menetelmä ei välttämättä ole enää validi maksimaalisen hapenottokyvyn määrittämiseen (Keskinen ym. 2004).

Fyysisen kunnan kehityksen seurauksia tarkasteltiin vertailemalla pienemmän otoksen (N=25) alkumittausten ja 4 kk -mittausten tuloksia. Parantunut supistusvoiman viittaa sydän- ja verenkiertoelimistön kunnan parantumiseen (Hollozy ym. 1964). Hapenottokyvyn ja painonmuutoksen perusteella tutkimuksen seurantaryhmä kohotti kuntoaan jakson aikana: VO₂max parani keskimäärin 1.3 ml/kg/min (p<0.001) ja paino laski 1.1 kg (p<0.05). Muutokset BKG- signaalista analysoiduissa muuttujissa olivat samansuuntaisia: leposyke laski, IJ-amplitudin korkeus ja IJ-teho kasvoivat sekä taajuusspektrin painopiste siirtyi korkeammille taajuuksille.

Tilastollinen merkitsevyys löytyi ainoastaan spektrille (p<0.001). Muiden muuttujien osalta syy lienee tulosten suuressa hajonnassa. Vaihtelu voi selittyä epäkohdista tutkimusasetelmassa ja käytetyssä mittauslaitteistossa: koehenkilön asento BKG-mittauksessa on voinut olla erilainen eri mittauskerroilla ja lisäksi toisella mittauskerralla alkoi esiintyä yhä enemmän teknisiä ongelmia. Tulosten analysoinnissa ei ole myöskään otettu huomioon kehonkoostumuksessa tapahtuneita muutoksia. Lisäksi vertailu epäsuoran hapenottokyvyn testituloksiin on arveluttavaa itse menetelmä vuoksi, mutta myös käytetyn yksikön vuoksi: hapenottokyvyn parantuminen voi selittyä painon puutoamisella, ei verenkiertoelimistössä tapahtuneiden muutosten vuoksi. Keskiarvotarkastelun perusteella selkein muutos oli tapahtunut spektrissä. Kettunen ym. (2001) saamat tulokset ovat samansuuntaisia ja he löysivät spektrin painopisteen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välille korrelaation. Spektrin tarkastelu ei kuitenkaan ole yksiselitteistä, sillä spektri tarkastelee myös BKG-kompleksissa näkyviä vartalon heijasteita. Näin ollen muutokset rasvakudoksen määrässä ja hengityksen vaihe vaikuttavat etenkin spektriin (Alametsä ym. 2000). Tämä voi selittää spektrin painopisteen muutoksen ja hapenottokyvyn heikkoa korrelaatiota. Tämän vuoksi spektrin tarkastelu kannattaisi jatkossa rajoittaa pelkästään tarkasteltavaan BKG-kompleksin osaan.

Kuntoilun aiheuttamia muutoksia BKG-muuttujissa tarkasteltiin myös tutkimalla luokkien välisiä eroja boxplot-kuvaajien avulla. Hapenottokyvyn mukaisesti jaettujen luokkien välille ei löydetty tilastollisesti merkitseviä eroja. Huomionarvoista on, että jokai-

sen muuttujan osalta eniten kuntoaan kohottaneiden luokassa (luokka 3) hajonta on suurinta. Hollozy:n ym. (1964) mukaan kuntoilun seuraukset näkyvät BKG-kompleksissa selvimmin IJ-amplitudin korkeuden kasvuna. Samoin havaitsivat Alametsä ym. (2000) tutkimuksessaan. Tässä tutkimuksessa kertaluonteisen mittauksen tarkastelussa merkittävimmäksi tekijäksi osoittautunut IJ-amplitudin korkeus ei saatujen tulosten valossa välttämättä kuitenkaan ole kuntotason seurannan kannalta keskeinen muuttuja. Luokkien välisessä tarkastelussa vähiten kuntoaan kohottaneiden kohdalla amplitudi on jopa pienentynyt ja keskimmaisella ryhmällä amplitudi on keskimäärin kasvanut eniten.

IJ-tehon osalta tarkasteltaessa boxplot-kuvaajasta luokkien keskiarvoja havaitaan, se on kasvanut hapenottokyvyn kanssa samansuuntaisesti. Tämän perusteella voidaan arvella, että sydämen toiminnan tehostuessa voimantuottonopeus kasvaa tuotetun voiman suuruutta herkemmin. Tämä vaatii kuitenkin vielä lisätutkimusta.

Tässä tutkimuksessa saadut tulokset kuntoilun seurauksena tapahtuneista muutoksista eivät tukeneet aiempien tutkimusten tuloksia, joissa BKG:ssa havaittiin selkeitä muutoksia. Yksi selittävä tekijä voi löytyä puutteista tutkimusasetelmasta kuntoilujakson osalta: liikkumista ei ohjeistettu eikä kuntoilun lisääntymisestä jakson aikana ole varmuutta. Vaikka $VO_2\text{max}$ -muutos oli tilastollisesti merkittävä, käytännössä 1.3 ml/kg/min parannus voi selittyä mittausvirheellä: epäsuora pp-ergotesti ei ole täysin luotettava menetelmä, joten myöskään tutkimuksessa havaittuja muutoksia hapenottokyvyssä ei pystytä todistamaan luotettavasti. Jatkotutkimuksissa kuntoilujakson harjoittelu tulisi vakioida tarkasti tulosten luotettavuuden parantamiseksi.

Käytetyn laitteiston jatkokehittelyn kannalta keskeisimpiä kehityskohteita ovat tekniikan luotettavuuden lisääminen, koehenkilön asemointi tuoliin sekä käyttöliittymän monipuolistaminen. Tekniikan osalta laitteistoon liittyvän elektroniikan luotettavuus on varmistettava. Tässä tutkimuksessa tekniset ongelmat lisäsivät virhelähteiden mahdollisuutta, sillä esimerkiksi koehenkilön painoa ei saatu luotettavasti mitattua. Tässä tutkimuksessa ongelmia esiintyi erityisesti kookkaampien koehenkilöiden kohdalla. Voimanmuutosta tallentavaan BKG-signaaliin tämä ei todennäköisesti kuitenkaan vaikuttanut. Lisäksi välillä esiintyi kosketushäiriöitä EKG-antureihin.

Tuolimalli tuo selkeitä etuja mittaustilanteeseen asennon miellyttävyyden ja helppouden vuoksi. Tämä tuo kuitenkin haasteensa mittauksen luotettavuuden kannalta: tuolin tulee olla vakaa, mutta liikuteltava ja lisäksi koehenkilön asento pitäisi pystyä vakioimaan niin, että mittauksen aikana asento ei muutu ja mittaus on toistettava. Erityisesti huomiota tulee kiinnittää keskivartalon ryhdikkyuteen ja pään asentoon sekä elektrodien sijoitteluun. Käsinojiin upotettuina ne toimivat mitattavan kannalta huomaamattomasti. Tällöin käsinojissa tulee olla säätömahdollisuus niin, että käsien asento on luonteva, mutta samalla varmistetaan hyvä kontakti elektrodeihin. Jotta erikokoisten ihmisten mittaaminen onnistuu luotettavasti, istuinmateriaali tulee olla mahdollisimman mukautuva. Tutkimuksessa käytetty prototyyppi oli hieman liian ahdas kookkaammille henkilöille.

Laitteiston tuotteistamisen ja käytettävyyden kannalta eniten kehitettävää löytyy sen käyttöliittymästä. Mittausnäkymän olisi hyvä saada lisää informaatiota, ainakin reaaliaikainen syke- ja sykevälinäyttö olisivat käyttökelpoisia ominaisuuksia. Näiden avulla olisi mahdollista saada tietoa koehenkilön stressitilasta ja varmistaa hänen rentoutumisensa. Välittömän palautteenannon kannalta käyttöliittymään tulisi lisätä analysointityökalu, joka esim. laskee useamman minuutin datakeräyksestä keskiarvoistukset. Analysoitavia muuttujia voisivat olla syke, sykevälivaihtelu, BKG- ja EKG -aaltomuodot, IJ-amplitudin korkeus, IJ-amplitudin nousuaika, IJ-teho, IJ-käyrän taajuusspektri sekä taajuusspektrin painopiste.

Ballistokardiografia on vaivaton ja mitattavan henkilön kannalta miellyttävä menetelmä tutkia sydämen toimintakykyä (Hollozy ym. 1964). Sitä on hyödynnetty lähinnä diagnostisena työkaluna (Abrams ym. 1953), mutta jatkossa sitä voitaisiin hyödyntää yhä enemmän myös fyysisen kunnon tarkkailussa (Koskinen 2002). BKG-tutkimuksen haasteena on BKG:n yksilöllisyys: esimerkiksi jo sydämen normaalista poikkeava akselin suunta voi vaikuttaa huomattavasti aaltomuotoon (Harrison&Talbot 1967). Myös tässä tutkimuksessa mittaustulosten analysointi osoittautui hyvin haastavaksi ja aikaa vieväksi tehtäväksi. Esiintyneistä ongelmista ja mittaustavan epätarkkuudesta huolimatta saadut tulokset olivat rohkaisevia ja käytetty mittaamenetelmä näyttäisi soveltuvan hyvin sydämen toimintakyvyn arviointiin etenkin alle 60-vuotiaiden osalta.

Jatkotutkimuksissa olisi syytä tutkia sydän- ja verenkiertoelimistön toimintaa kokonaisvaltaisesti ja yhdistää BKG:n analysointi entistä enemmän mm. EKG:n, verenpaineen, iskutilavuuden ja sydänlihaksen massan tutkimisen kanssa. Alametsä ym. (2007) mukaan muutokset verenpaineessa ja verisuoniston elastisuudessa näkyvät etenkin spektrissä. Trefnyn ym. (2009) mukaan luurankoli hasten voiman kasvu vaatii verenkiertoelimistön mukautumista, mm. sydänlihaksen kasvua, mikä puolestaan näkyy kasvavana sydämen supistusvoimana.

BKG-seurantamittausten yhteydessä mittaustilanteen vakiointi nousee erityisen merkittävään rooliin, jolloin muut kehossa tapahtuneet muutokset on otettava huomioon samoin kuin koehenkilön asento ja stressitila mittauksen aikana. Stressin vaikutusta tutkineiden Stevensonin ym. (1949) saamien tulosten valossa stressitila voi tilapäisesti nostaa sydämen minuuttitulavuutta. Lisäksi mielenkiintoinen jatkotutkimuksen aihe on miten verenkiertoelimistön kunnon kohentuessa sydämen supistuskyvyn parantuminen näkyy BKG-signaalissa: kasvavatko tuotetun voiman määrä ja voimantuottonopeus samassa suhteessa ja tapahtuvatko muutokset näissä yhtä nopeasti.

Tämän tutkimuksen merkittävin tulos oli, että tutkimuksessa käytetyllä tuolimallisella laitteistolla mitattuna ballistokardiografian IJ-aallon tarkastelu näyttäisi soveltuva sydän- ja verenkiertoelimistön kuntotason arviointiin kertaluontoisena mittauksena, etenkin alle 60-vuotiaiden osalla. Saatujen tulosten perusteella BKG-tuolilla voi olla edellytyksiä myös kaupallisena liikuntateknologisenä tuotteena. Ennen kuin menetelmän käyttö voi yleistyä kuntotestauksen tai kotihoidon kaupallisena sovellutuksena, siihen vaikuttavat virhelähteet on pystyttävä tunnistamaan ja niiden vaikutukset minimoimaan. Tarvitaan vielä kuitenkin pidempiaikainen seurantatutkimus menetelmän toistettavuuden takaamiseksi sekä lisätietoa BKG:n käyttäytymisestä, ennen kuin viitearvojen laatiminen sukupuolittain eri ikäryhmille on mahdollista.

9 LÄHTEET

- Abrams, W. B. & Edger, H. D. 1953. A Ballistocardiographic Study on Healthy Young Adult Males. *Circulation* 8:738-743.
- ACSM. 2000. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. American College of Sports and Medicine. 6. painos. Lippincott Williams&Wilkins, USA.
- Akhbardeh, A., Junnila, S., Koivuluoma, M., Koivistoinen, T. & Värri, A. 2007. Applying Novel Time-Frequency Moments Singular Value Decomposition Method and Artificial Neural Networks of Ballistocardiography. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* doi:10.1155/2007/60576
- Akhbardeh, A., Junnila, S., Koivuluoma, M., Koivistoinen, T., Turjanmaa, V. Kööbi, T. & Värri, A. 2006. Towards a heart disease diagnosing system based on force sensitive chair's measurement, biorthogonal wavelets and neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* doi:10.1016/j.engappai.2006.07.005
- Alametsä, J., Värri A., & Palomäki, A. 2007. Long Term Follow-up of Ballistocardiography. Teoksessa: Kristiina Häyrynen (toim.). 2007. Sosiaali- ja terveydenhuollon tietotekniikan ja tiedonhallinnan tutkimuspäivät. Stakesin työpapereita 14/2007. Stakes.
- Bjålie, J. G., Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø. V. & Toverund, K. C. 2000. Ihminen: Fysiologia ja anatomia. 2. painos. WSOY, Helsinki.
- Bouchard, C. & Shepard, R. J. 1994. Physical Activity, Fitness & Health: The model and Key Concepts. Teoksessa: Bouchard, C., Shepard, R. J & Stephens, T. (toim.). Physical Activity, Fitness & Health: International Proceedings and Consensus Statement. Human Kinetics Publishers.

- Brown, H. R., de Lalla, V. Epstein, M. A. & Hoffman, M. J. 1953. *Clinical Ballistocardiography*. The Macmillann Company, New York.
- Diges. 2008. *Selvitys liikunta-alan yritystoiminnasta*. Diges ry.:n raportti.
- Elliot, R. V., Packard, R. G. & Kyrazis D. T. 1954. Acceleration Ballistocardiography: Design, Construction, and Application of a New Instrument. *Circulation* 9:281-291.
- Elsbach, H., Rodrigo, F. A., Weeda H. W. & Pool, J. 1970. The ballistocardiogram in selection for and assessment of physical conditioning in patients with ischemic heart disease. *Bibl Cardiol* 26:49-51.
- Frick, H., Heikkilä, J. & Pyörälä, K. (toim.) 1994. *Kliininen kardiologia*. Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Haapamäki, P. 2007. *Selvitys lähikenttäkuvantamiseen perustuvan sensorijärjestelmän ominaisuuksista sovellusten kannalta*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.
- Hanson, J. S., Tabakin B. S., Levy A. M., & Nedde, W. 1968. Long-term physical training and cardiovascular dynamics in middle-aged men. *Circulation* 38:783-799.
- Harrison, W. K. & Talbot, S. A. (1967) Two new forms of ultra-low frequency ballistocardiograph. *Bibl Cardiol* 19:13-18.
- Holloszy, J. O., Skinner J. S., Barry A. J. & Cureton, T. K. 1964. Effect of physical conditioning on cardiovascular function. *Am J Cardiol* 14:761-770.
- Jokl, E. 1959. Ballistocardiographic studies on athletes. *Am J Cardiol* 4:105-117

- Kallinen, M. Kuntotestin vasta-aiheet. Teoksessa: Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 156. Tammerpaino Oy, Tampere. s. 32-34.
- Kavanagh, T. 2003. Exercise in Cardiac rehabilitation. *Br J Sports Med* 2000;34:3-6
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 156. Tammerpaino Oy, Tampere.
- Kettunen, R., Heikkinen, J., Sepponen, R., Sipola, P., Anttonen, T., Kilpeläinen, A., Koskinen, S., Ritola, J., von Hertzen, R. & Järvinen, E. 2001. Ballistocardiography in Physical Training – Preliminary Study. *IJBEM*, Vol 3.
- Koskinen, S. 2002. Ballistokardiografia kuntoharjoittelun seurannassa. Erikoistyö. Teknillinen Korkeakoulu.
- Laine, P. 2007. Miehet kuntoon! Kansalaiskunnan lasku ja korjaavat toimenpiteet. EVA:n raportti. Taloustieto Oy.
- Moss, A. J. 1961. Ballistocardiographic Evaluation of the Cardiovascular Aging Process. *Circulation* 23:434.
- Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S. & Atwood, J. E. 2002. Exercise Capacity and Mortality among Men Referred for Exercise Testing. *N Engl J Med*, 346:11 s. 193-801.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 1976. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 4. painos. WSOY, Porvoo.
- Nummela, A. 2004. Kestävyysominaisuuksien mittaaminen. Teoksessa: Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellisen Seuran julkaisu nro 156. Tammerpaino Oy, Tampere. s. 51-64.

- Ogawa, T., Spina, R. J., Martin, W. H., Kohrt, W. M., Schechtman K. B., Hollozy, J. O. & Ehsani, A. A. 1992. Effects of Age, Sex and Physical Training on Cardiovascular Responses to Exercise. *Circulation* 86:2 pp. 494-502.
- Palo, J. 1993. *Suomalainen lääkärikirja*. WSOY, Porvoo.
- Rappaport, M. B., Sprague, H. B. & Thompson, W. B. 1953. Ballistocardiography : I. Physical Considerations. *Circulation* 7:229-246.
- Rehunen, s. 1997. *Terveys ja liikunta*. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Ritola, J. 2002. Evaluation of a Ballistocardiographic Measurement Chair. Licentiate thesis. Helsinki University of Technology, Department of Engineering Physics and Mathematics, Espoo.
- S'Jongers, J. J. & Segers M. 1968. Differences between the ballistocardiograph of athletes and of the sedentary persons. *Bibl Cardiol* 21:145-151.
- Smith, N. T. 1974. Ballistocardiography. Teoksessa: Weissler, A. M. (toim.) *Noninvasive Cardiology*. Grune & Stratton, New York ja Lontoo. s. 39-148.
- Starr, I. & Noordergraaf, A. 1967. *Ballistocardiography in Cardiovascular Research*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Stevenson, I. P., Duncan, C. H. & Wolff, H. G. 1968. Circulatory dynamics before and after exercise in subjects with and without structural heart disease during anxiety and relaxation. *J Clin Invest* 28:1534-1543.
- Steward, K. J. 2002. Exercise Training and the Cardiovascular Consequences of Type 2 Diabetes and Hypertension. *JAMA* 288 : 1622-1631

- Thompson W. B., Rappaport, M. B. & Sprague, H. B. 1953. Ballistocardiography : II. The Normal Ballistocardiogram. *Circulation* 7:321-328.
- Trefny, Z., Stork, M. & Trefny, M. 2009. Electronic Device for Seismocardiography, Noninvasive Examination and Signal evaluation. Teoksessa: *Proceedings of the International Conference on Biomedical Electronics and Devices (Biodevices 2009)*, vol. 1, 2009, s. 204-208
- Trefny, Z., Hana, K., Trojan, S., Toman, V., Herczegh, S., Pousek, L. & Slavicek, J. 2003. New Trends in Ballistocardiography. *Measurement Science Review*, vol 3:2, 2003.
- Valtioneuvoston kanslia. 2007. Terveysthuollon menojen hillintä: rahoitusjärjestelmän ja ennaltaehkäisyn merkitys. Valtioneuvoston kanslian julkaisusarja 4/2007.
- Verdouw P. D., Noordergraaf, A., Arntzenius A. C. & Huisman, P. H. 1973. Relative Movement between subject and support in body acceleration applied synchronously with the heartbeat (BASH). *Bibl Cardiol* 24:75-84.

OHJEET KUNTOKATSASTUKSEEN VALMISTAUTUMISEKSI

- ✓ Vältä kovaa harjoittelua 2-5 vrk ennen katsastusta
- ✓ Vältä alkoholia 1 vrk ennen katsastusta
- ✓ Tule katsastukseen levänneenä eli riittävät yöunet suositeltavat
- ✓ Vältä kunnon ruokailua 4 h ennen katsastusta (esim. aamupala, välipala OK)
- ✓ Vältä tupakointia, teetä ja kahvia 3 h ennen katsastusta
- ✓ Pyri pitämään nestetasapainosi mahdollisimman normaalina
- ✓ Ota mukaasi käyttämiesi lääkkeiden nimet, vahvuudet ja annostelutiheys (lääkekortti)
- ✓ Naiset: merkitse ylös kuukautiskiertosi vaihe
- ✓ Pukeudu väljiin ja mukaviin urheiluvaatteisiin, ota mukaan lenkki / sisäpelikengät
- ✓ Varaudu käymään suihkussa katsastuksen jälkeen
- ✓ Ota mukaan juomapullo ja tarpeesi mukaan pientä purtavaa
- ✓ EI sairaana eikä toipilaana testiin! Mikäli sairastut, ilmoita siitä mahdollisimman pian projektipäällikölle.

TESTIASEMA KUNTOKATTI

KUNTOKATSASTUSASEMA HANKE

On tärkeää, että tiedämme elintavoistasi ja aiemmista liikuntatottumuksistasi ennen kuin testaamme sinut. Vastaa seuraaviin kysymyksiin huolellisesti.

Nimi _____ Synt.aika _____ Paino _____ Pituus _____

Merkitse rastilla oikea vaihtoehto.

- | | kyllä | ei |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. Onko sinulla lääkärin toteamaa hengitys-, sydän-, verenkiertoelimistön tai aineenvaihdunnan sairautta?
Mitä? _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Sairastatko verenpainetautiä tai onko lääkäri todennut verenpaineesi olevan kohonnut? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Onko lähisukulaisillasi (isä, äiti, veli, sisko, lapsi) ollut sydänveritulppaa, sydämen sepelvaltimoiden toimenpidettä tai sydänperäistä äkkikuolemaa ennen 55-v. miespuolisilla tai ennen 65-v. naispuolisilla? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Onko sinulla todettu sokeriaineenvaihdunnan sairautta tai häiriötä?
Mitä? _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. Onko sinulla todettu korkeaä veren kolesterolipitoisuutta? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Oletko tupakoinut säännöllisesti viimeisen 6 kuukauden aikana? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Onko sinulla ollut rintakipuä tai hengenahdistusta
a) levossa? <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
b) rasituksessa? <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Miten usein ja millaisia? _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Pyörryttääkö sinua usein ja tai kärsitkö huimauksesta? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Onko sinulla lääkärin toteama tulehduksellinen nivelsairaus? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. Onko sinulla selkävaivoja tai muita tuki- ja liikuntaelinten pitkäaikaisia tai usein toistuvia vaivoja?
Mitä? _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. Käytätkö säännöllisesti lääkkeitä?
Mitä? _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Oletko viimeisen kahden viikon aikana sairastanut jotain tartuntatautiä (flunssa, kuume)? Mitä _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Oletko viimeksi kuluneen vuorokauden aikana nauttinut runsaasti alkoholia (enemmän kuin 2 ravintola-annosta)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. Onko sinulla jokin muu omaan terveyteen liittyvä syy, jonka takia sinun ei tulisi osallistua liikuntaan, vaikka itse haluaisitkin?
Jos niin mikä _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

MIKÄ ON FYYSINEN AKTIIVISUUTESI (0 - 7)? _____

En harrasta säännöllistä vapaa-ajan liikuntaa tai raskaita fyysisiä ponnisteluja

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

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

- 1 - Harrastan kevyttä liikuntaa 10 - 60 minuuttia viikossa
 2 - Harrastan kevyttä liikuntaa yli tunnin viikossa
 3 - Harrastan kevyttä liikuntaa 2-3 tuntia 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 - Harrastan raskasta liikuntaa vähintään tunnin viikossa tai kevyttä liikuntaa vähintään 3 tuntia viikossa
 5 - Harrastan raskasta liikuntaa vähintään 2 tuntia viikossa tai kevyttä liikuntaa vähintään 4 tuntia viikossa
 6 - Harrastan raskasta liikuntaa vähintään 3 tuntia viikossa tai kevyttä liikuntaa vähintään 5 tuntia viikossa
 7 - Olen harrastanut raskasta liikuntaa vähintään 4 kertaa viikossa säännöllisesti jo yli vuoden ajan

	kyllä	ei
Tietoni ja testitulokseni saa tallettaa testiaseman omaa käyttöä varten. Tietoja ja testituloksia ei luovuteta muille tahoille.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tietojani ja testituloksiani saa käyttää nimettömänä tieteellisissä tutkimuksissa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tunnen testaustavan ja osallistun siihen omalla vastuullani	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Vuokatissa ___/___20__

allekirjoitus _____

Sopivimmat harjoittelupäivät

Merkitse 3-5 viikonpäivää, mitkä sopisivat mieluiten harjoitteluun:

maanantai tiistai keskiviikko torstai perjantai lauantai sunnuntai

Urheilulajini/aktiviteettini

Merkitse lajit, joita tällä hetkellä harrastat tai haluaisit harrastaa:

Terveysmittaukset

- Haluan asettaa painotavoitteen ja tavoitepainoni on _____ kg
 Haluan asettaa vyötärön ympärysmitan tavoitteeksi 80.0 cm
 Haluan asettaa verenpaineen-tavoitteeksi _____

Sähköpostiosoitteesi _____

SNOWPOLIS

VUOKATTI FINLAND

TERVETULOA KUNTOKATSASTUKSEEN

Arvoisa pilottikuntoilijamme,

Kesäkuussa 2007 alkaa Kuntokatsastusasema -hankkeen pilotointivaihe, jonka tarkoituksena on testata uutta fyysisen kunnan mittaamiseen ja kehittämiseen tähtäävää palvelukonseptia. Olet yksi reilusta sadasta "koeasiakkaastamme", jotka osallistumalla tähän n. 8 kk kestävään seurantajaksoon antavat arvokkaan panoksensa tuotteen jatkokehittelylle. Pilotoinnin aikana käyt kuntokatsastuksessa n. 4 kk välein ja koko seurantajakson ajan saat etävalmentajaltasi apua ja kannustusta fyysisen kuntosi hoitamiseen.

Pilotointi alkaa Vuokatissa Snowpoliksen tiloissa suoritettavalla kuntokatsastuksella (kartta liitteenä). **Valittavanasi on yksi viidestä katsastuspäivästä: ke 6.6., to 7.6., pe 8.6., ma 11.6. tai ti 12.6. Varaa itsellesi sopiva aika 31.5.2007 mennessä projektipäällikkö Jari Partaselta (yhteystiedot alla)** Kuntokatsastus ja etävalmennus ovat ilmaisia, kyydit omakustanteisia.

Luotettavien tulosten takaamiseksi katsastukseen tulisi valmistautua oikeaoppisesti, joten pyydämme lukemaan liitteenä olevat ohjeet huolellisesti. **Aikaa katsastuskäynnille kannattaa varata parisen tuntia.** Itse kuntokatsastus sisältää seuraavat vaiheet:

TERVEYDETLA- JA MOTIVOITUMISKYSELYT SEKÄ VERENPAINEN MITTAUS
Kyselyiden ja verenpaineen mittauksen avulla tarkistetaan, että asiakkaan terveydentila on riittävän hyvä katsastuksen läpikäymiseksi. Lisäksi kartoitetaan asiakkaan motivaatitotehtäviä fyysisen kunnan hoitamiseen liittyen.

KEHONKOOSTUMUSMITTAUKSET
Kehonkoostumusta seurataan mittaamalla vyötärönympäryys sekä arvioimalla kehon lihas- ja rasvakudoksen määriä bioimpedanssilaitteella. Bioimpedanssi mittaa kehon sähkönjohtokykyä, joten tulokseen vaikuttavat olennaisesti kehon nestemäärä sekä naisilla kuukautiskierron vaihe. Mittaus suoritetaan vaa'an päällä seisten muutaman minuutin ajan.

SYDÄMEN TOIMINTAKYKYMITTAUS
Sydämen toimintakykyä mitataan ballistogardiografian (BKG) avulla. Asiakas istuu n. 5 min ajan tuolissa, joka rekisteröi sydämen sykkeen aiheuttaman värähtelyn kehossa, ts. sydämen lyöntivoiman. Samalla saadaan myös sydänkäyrä eli EKG.

TASAPAINOTESTIT
Tasapainoa mitataan seisomalla huojuntaa rekisteröivän laitteen päällä.

SYDÄN JA VERENKIERTOELIMISTÖN KUNNON MITTAUS
Sydän- ja verenkiertoelimestön toimintakyvyn katsotaan olevan tärkein fyysisen kunnan mittari. Tämä mitataan 8-15 minuuttia kuntopyörällä polkien siten, että polkeminen muuttuu raskaammaksi aina parin minuutin välein.

LIHASKUNTOTESTIT (vapaaehtoinen)
Työikäiset asiakkaat voivat halutessaan suorittaa kolmiosaisen lihaskuntotestin, joilla mitataan vatsalihasten, jalkalihasten sekä käsien ja selän toimintakuntoa. Suoritettavat liikkeet ovat istumaannousu, kyykistys ja sovellettu etunojapunnerrus.

Katsastuksen jälkeen tarjoamme kahvit ja etävalmentajasi antaa tietoa ja opastusta harjoittelun aloittamiseksi.

NÄHDÄÄN VUOKATISSA!**Lisätietoja ja katsastusajan varaukset:**

projektipäällikkö
Jari Partanen
p. 044 057 6838
e. jari.partanen@snowpolis.com



VO₂max luokitus miehille Shvartzin ja Reinboldin (1990) koaman aineiston mukaan [ml/kg/min]

Ikä	1	2	3	4	5	6	7
12-13	<34	34-40	41-46	47-53	54-59	60-65	>65
14-15	<34	34-39	40-46	47-53	54-59	60-65	>65
16-17	<34	34-39	40-45	46-52	53-58	59-64	>64
18-19	<33	33-38	39-44	45-51	52-57	58-63	>63
20-24	<32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	>62
25-29	<31	31-35	36-42	43-48	49-53	54-49	>59
30-34	<29	29-34	35-40	41-45	46-51	52-56	>56
35-39	<28	28-32	33-38	39-43	44-48	49-54	>54
40-44	<26	26-31	32-35	36-41	42-46	47-51	>51
45-49	<25	25-29	30-34	35-39	40-43	44-48	>48
50-54	<24	24-27	28-32	33-36	37-41	42-46	>46
55-59	<22	22-26	27-30	31-34	35-39	40-43	>43
60-64	<21	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	>40
65-69	<20	20-22	23-26	27-30	21-34	35-38	>38
70-74	<18	18-20	21-24	25-28	29-31	32-34	>34
75-79	<16	16-19	20-23	24-26	27-29	30-32	>32

VO₂max luokitus naisille Shvartzin ja Reinboldin (1990) koaman aineiston mukaan [ml/kg/min]

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