

**KESTÄVYYSKUNTO, AKUUTTI RASITUS JA
SYKEVÄLIVAIHTELU SEKÄ NIIDEN YHTEYDET
VIGILANSSIIN JA OPPIMISEEN**

Panu Moilanen

Pro gradu –tutkielma

Kevät 2008

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Moilanen, Panu 2008. Kestävyyuskunto, akuutti rasitus ja sykevälivaihtelu sekä niiden yhteydet vigilanssiin ja oppimiseen. Pro gradu –tutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, 89 s.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kestävyyskunnan, akuutin rasituksen, sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä. Kognitiivista suoriutumista mitattiin vigilanssia mittaavalla mukautetulla Mackworthin kellotestillä ja assosiativista oppimista mittaavalla Hiragana-tavukirjainpelillä. Kestävyyskunto testattiin suoralla maksimaalisen hapenoton testillä, joka toimii samalla tutkimusasetelman akuuttina rasituksena.

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 13 tervettä, kestävyystyypistä kuntoilua harrastavaa miestä (N=13, ikä $31,3 \pm 5,9$ v, pituus $175,8 \pm 6,2$ cm, massa $75,9 \pm 8,1$ kg). Kukin koehenkilöstä osallistui mittauksiin yhtenä päivänä. Mittaukset alkoivat kyynärtaipeen laskimosta otetulla paastoverinäytteellä, josta määritettiin verenkuva, veren rasva-arvot ja eräiden hormonien (kortisoli, kasvuhormoni, testosteroni, tyroksiini ja sukupuolihormoneja sitova globuliini) pitoisuudet. Tämän jälkeen koehenkilöille suoritettiin ortostaattinen koe, jonka yhteydessä taltioidusta sykedatasta määritettiin myös koehenkilön sykevälivaihtelun komponentit. Koehenkilöille tarjotun aamiaisen jälkeen suoritettiin rasitusta edeltävä kognitiivisen suoriutumisen testaus, jossa mitattiin koehenkilöiden vigilanssi- ja oppimissuorituskykyä. Tämän jälkeen määritettiin koehenkilöiden kestävyyskunto suoralla maksimihapenoton testillä, joka toimii samalla korkeaintensiteettisenä rasituksena. Käytetyssä testiprotokollassa koehenkilöt suorittivat viiden minuutin mittaisia sauvakävelykuormia, ja kuormitusta nostettiin nopeuden ja/tai kulman lisäyksillä. Maksimihapenoton testin jälkeen kognitiivinen testaus toistettiin.

Rasitus vaikutti merkitsevästi koehenkilöiden kognitiiviseen suoriutumiseen. Koehenkilöiden oppimisnopeus parani ja vigilanssisuorituskyky huononi tilastollisesti merkitsevästi. Kestävyyskunnan ja oppimisnopeuden välillä ei havaittu yhteyttä, mutta kestävyyskunto korreloi tilastollisesti merkitsevästi rasituksen jälkeisessä vigilanssitestissä menestymisen kanssa. Sykevälivaihtelun ja rasituksen jälkeisen oppimisnopeuden välillä oli korrelaatio sykevälivaihtelun LF- ja HF-tehojen osalta (LF-teho $r_s = -0,594$, $p = 0,042$ ja HF-teho $r_s = 0,594$, $p = 0,042$). Paastoverinäytteestä analysoitu tyroksiinipitoisuus korreloi merkitsevästi rasituksen jälkeisessä oppimistestissä menestymisen kanssa. Tutkimus osoitti, että akuutti rasitus vaikuttaa ihmisen kognitiiviseen suoriutumiseen ja että kestävyyskunnolla on vaikutusta siihen, kuinka merkittävä rasituksen aiheuttama vaikutus on.

Avainsanat: fyysinen kunto (YSA), kestävyys (YSA), kognitio (YSA), oppiminen (YSA), vigilanssi, sykevälivaihtelu, rasitus

ABSTRACT

Moilanen, Panu 2008. Aerobic fitness, acute exertion and heart rate variability and their interconnectedness with vigilance and learning. Master's Thesis. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, 89 pages.

The aim of this study was to examine the connections between aerobic fitness, acute exertion, heart rate variability and cognitive performance. Cognitive performance was measured using adapted Mackworth clock test measuring vigilance, and a game based on hiragana syllabic characters that measures associative learning. Aerobic fitness was measured using a direct test of maximal oxygen intake. The endurance test was also the acute exertion required by the research setting.

The subjects of the study were thirteen healthy males performing regular, endurance-type exercise (N=13, age $31,3 \pm 5,9$ years, length $175,8 \pm 6,2$ cm, mass $75,9 \pm 8,1$ kg). Each of the subjects participated in the measurements on one day. The subjects arrived to the laboratory after having fasted at least for 12 hours. The measurements started with a blood sample drawn from a vein inside the elbow. The blood analyses consisted of basic blood count, blood lipids and certain hormones (cortisol, growth hormone, testosterone, thyroxin and sex hormone-binding globulin). After this, an orthostatic test was performed, during which heart rate data was collected for a heart rate variability component analysis. After the subjects were served breakfast, the first measurement of cognitive performance was carried out. It measured subjects' performance in vigilance and learning tasks. Next, the direct test of maximal oxygen intake was performed to measure subjects' aerobic fitness. The test was also the high-intensity exertion of the research setting. The test protocol used was based on Nordic walking. The duration of one workload was five minutes, and the increments were done by increasing the speed and/or incline of the treadmill. After the maximal endurance test, the cognitive testing was repeated.

The exertion had a significant effect on the subjects' cognitive performance. Learning speed increased and vigilance performance deteriorated statistically significantly. No correlation was detected between aerobic fitness and learning speed, but in the cognitive testing performed after the maximal endurance test, the aerobic fitness correlated statistically significantly with the performance in the vigilance test. There was a correlation between the LF and HF power components of the heart rate variability and the learning speed after exertion (LF-power $r_s = -0,594$, $p = 0,042$ and HF-power $r_s = 0,594$, $p = 0,042$). The blood thyroxin level correlated statistically significantly with the learning speed in the test performed after the exertion. The study showed that acute exertion has an effect on the human cognitive performance and that aerobic fitness has an effect on the magnitude of the effect caused by exertion.

Keywords: physical fitness (LCSH, MeSH), cognition (LCSH, MeSH), vigilance (LCSH, MeSH), learning (LCSH, MeSH), exertion (MeSH), physical endurance (MeSH), heart rate variability

ESIPUHE

Tekijä: Panu Moilanen
Jyväskylän yliopisto
panu.moilanen@iki.fi

Ohjaaja: Teemu Pullinen
LitT, lehtori
Jyväskylän yliopisto

Tämän työn tekemistä on taloudellisesti tukenut Laskuvarjojääkärikilta, jonka tutkimustoimeksianto mahdollisti osittain tämänkin työn toteuttamisen. Ohjaajan tiedot ovat yllä. Tutkimusta ei olisi voinut toteuttaa ilman aikaansa ja energiaansa uhranneita koehenkilöitä. Kognitiivisten mittausten toteuttamisesta ovat vastanneet YTM Airi Kilpeläinen ja KTM Karo Salminen. Muiden mittausten toteuttamisessa ovat avustaneet DI, liik. yo Vesa Erojärvi, liik. yo Hilikka Penninkangas, KTM, liik. yo Anne Salomaa sekä DI, liik. yo Henri Vähä-Ypyä. Myös Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveyslaboratorion henkilökunnan, erityisesti Aila Ollikaisen, Pirkko Puttosen ja Risto Puurtisen, apu on ollut korvaamatonta. Englanninkielisen tiivistelmän kieliasun on tarkistanut FM Harri Suhonen. Agoran väki – erityisesti EMP:n E ja M – on kärsivällisesti kuunnellut vuodatuksiäni opiskeluharrastuksiinikin liittyen. Kiitän edellä mainittuja sekä jälleen kerran kaikkia teitä muita, jotka olette kukin omalla tavallanne edesauttaneet tämänkin työn valmistumista. Tiedätte kyllä, keitä olette. Kiitos!

Jyväskylässä, kesäkuussa 2008

Panu Moilanen



Creative Commons -lisenssi

Attribution-Noncommercial-No Derivative Works 1.0 Finland
Nimeä-Epäkaupallinen-Ei muutettuja teoksia 1.0 Suomi
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd-nc/1.0/fi/>

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
1 JOHDANTO	6
2 KESTÄVYYSKUNTO JA AKUUTTI RASITUS	8
2.1 Fyysinen aktiivisuus, kunto ja kestävyyskunto	8
2.2 Kestävyyskunto ja sen merkitys	10
2.3 Kestävyyskunnan arviointi ja mittaaminen	11
2.4 Akuutti rasitus ja sen fysiologiset vaikutukset	12
3 SYDÄN, VERENKIERTO JA SYKEVÄLIVAIHTELU	14
3.1 Verenkierto	14
3.2 Sydän	15
3.2.1 Sydämen toiminnan sisäinen säätely	15
3.2.2 Sydämen toiminnan ja verenkierron ulkoinen säätely	16
3.3 Sykevälivaihtelu ja sen komponentit	18
3.3.1 Respiratorinen komponentti	19
3.3.2 Verenpainekomponentti	19
3.3.3 Hyvin ja erittäin matalataajuiset komponentit	20
3.4 Sykevälivaihtelun mittaaminen ja analysointi	20
3.4.1 Aikakenttäanalyysi	20
3.4.2 Taajuuskenttäanalyysi	21
3.4.3 Paluukuvaus	22
3.4.4 Approksimatiivinen entropia ja DFA	22
4 VIGILANSSI JA OPPIMINEN	24
4.1 Vigilanssi	24
4.1.1 Vireys	25
4.1.2 Tarkkaavaisuus	26
4.2 Vigilanssiteorioista	27
4.2.1 Inhibitio- ja habituaatioteoriat	28
4.2.2 Suodatusteoria	28
4.2.3 Odotettavuusteoria	29
4.2.4 Resurssiteoria	29

4.2.5	Vireys- ja toimintavalmiusteoria.....	29
4.3	Oppiminen.....	30
4.3.1	Kolme teoreetikkoa.....	31
4.3.2	Nykykäsitys muistin ja oppimisen neurofysiologiasta.....	33
4.4	Kognitiivisen suoriutumisen vaihtelu.....	35
4.4.1	Kestävyyskunnan vaikutus.....	35
4.4.2	Rasituksen vaikutus.....	38
4.4.3	Kognitiivisen suoriutumisen erityiskysymyksiä.....	40
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	42
5.1	Tutkimuskysymykset.....	42
5.2	Hypoteesit.....	42
6	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA AINEISTON KERUU.....	43
6.1	Tutkimuksen toteutus.....	43
6.2	Koehenkilöt.....	44
6.3	Koeasetelma.....	45
6.4	Tutkimusmittaukset.....	45
6.4.1	Sykevälivaihtelu.....	46
6.4.2	Vigilanssi ja oppiminen.....	47
6.4.3	Maksimaalisen hapenoton testi.....	49
6.5	Muut mittaukset.....	51
6.6	Tilastollisten menetelmien valinnasta.....	51
6.7	Tutkimuksen etiikka.....	53
7	TULOKSET.....	54
7.1	Kestävyyskunto.....	54
7.2	Akuutti rasitus.....	55
7.3	Sykevälivaihtelu.....	58
7.4	Muita tuloksia.....	59
8	POHDINTA.....	62
8.1	Akuutti rasitus.....	62
8.2	Kestävyyskunto.....	64
8.3	Sykevälivaihtelu ja muut tulokset.....	65
8.4	Tutkimuksen luotettavuus.....	66
	LÄHTEET.....	69
	LIITTEET.....	79

1 JOHDANTO

*”Olipa puuduttavaa! Guantanamon vankileirit kielletään, mutta täl-
laista saa vielä tehdä.” – Yksi tutkimuksen alkuperäisistä koehenki-
löistä kommentoi tämän tutkimuksen kognitiivisen suoriutumisen mit-
tauksia Apu-lehdessä 28.2.2006.*

Yksi merkittävimmistä ihmisen kaikista muista lajeista erottavista tekijöistä on ihmisen kognitiivisten toimintojen ylivoimaisuus käytännössä kaikkiin muihin lajeihin verrattuna. Ihminen ei ole erityisen nopea, voimakas tai sopeutumiskykyinen. Ihmislajin menestyksen taustalla historiassa onkin nimenomaan ihmisen kognitiivinen kyvykkyys, joka on merkittävä tekijä myös ihmisten luomassa yhteiskunnassa selviämisen kannalta. Kognitiivisesti kyvykkäät – tietoa mahdollisimman tehokkaasti vastaanottavat, käsittelevät ja varastoivat – yksilöt selviävät paremmin kuin ne, joiden kognitiivisten prosessien toiminta jättää toivomisen varaa.

Kognitiivisten prosessien tarkka luonne ja toimintamekanismit ovat vielä tällä hetkellä – ja todennäköisesti vielä pitkään – epäselviä, mutta juuri tästä syystä onkin esitetty mitä erilaisimpia ajatuksia siitä, mitkä tekijät mahdollisesti vaikuttavat kognitiivisiin prosesseihin ja siitä, kuinka niitä voitaisiin tehostaa. Fyysisen kunnon ja fyysisen rasituksen rooli kognitiivista suoriutumista selittävinä tekijöinä on ollut kiinnostuksen kohteena yllättävän pitkään. Tämän työn peruslähtökohtana on tuon suhteen valottaminen.

Tämän tutkimuksen perustavoitteena oli selvittää, a) onko kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittavissa yhteyttä sekä b) vaikuttaako akuutti rasitus kognitiiviseen suoriutumiseen. Lisäksi tutkittiin sitä, onko c) mitatun sykevälivaihtelun eri komponenttien ja kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittavissa yhteyttä. Tutkimuksessa koehenkilöryhmälle tehtiin kognitiivista suoriutumista mittaavia testejä ennen korkeaintensiteettistä akuuttia rasitusta (suoran maksimaalisen hapenottokyvyn testi) ja välittömästi sen jälkeen. Sen lisäksi koehenkilöiden sykevälivaihtelua mitattiin heille suoritettuna ortostaattisen testin aikana levossa ennen muita testejä.

Työhön liittyy eräitä peruskäsitteitä, joiden sisältö tässä työssä on hyvä yleisellä tasolla määritellä jo nyt. *Kognitiolla* tarkoitetaan ihmisen tiedon hankintaan, tallentamiseen, muokkaamiseen ja käyttämiseen liittyviä prosesseja. *Kognitiivisella suoriutumisella* tar-

koitetaan näiden prosessien tehokkuutta. Kognitiota tässä työssä edustavat sen komponentit, vigilanssi ja oppiminen. *Vigilanssilla* tarkoitetaan pidempiaikaisesti ylläpidettyä valppautta, valmiutta havaita ennalta määritelty ärsyke ja toimia sen perusteella relevantilla tavalla. *Oppimisella* tarkoitetaan prosessia, jossa yksilössä tapahtuu suhteellisen pysyviä, kokemuksesta johtuvia psyykkisiä muutoksia, jotka heijastuvat hänen tiedoissaan, taidoissaan tai käyttäytymisessään. *Kestävyyskunnolla* tarkoitetaan sydämen ja verenkiertoelimistön kykyä toimittaa happea aktiivisille lihaksille erityisesti raskaan fyysisen ponnistelun aikana ja lihasten kykyä hyödyntää tätä toimitettua happea energia-aineenvaihdunnassaan. *Akuutilla rasituksella* tarkoitetaan väliaikaista, lähinnä luurankolihasen työstä johtuvaa ihmiselimistön yleisen toiminta-asteen ja aineenvaihdunnan kiihtymistä. *Sykevälivaihtelulla* tarkoitetaan ihmisen sydämen sykkeessä havaittua, sykähähdysten välisen ajallisen etäisyyden vaihtelua, jota voidaan mitata sykkeen R-aaltojen välisiä ajallisia etäisyyksiä havainnoiden.

2 KESTÄVYYSKUNTO JA AKUUTTI RASITUS

Tässä luvussa paneudutaan fyysisen kunnan eri ulottuvuuksiin ja tarkemmin tämän työn kannalta merkittävimpään kestävyyskunnan käsitteeseen. Lisäksi esitellään lyhyesti kestävyyskunnan merkitystä fyysisen kunnan osatekijänä ja tutustutaan yleisimpiin kestävyyskunnan mittausmenetelmiin. Lopuksi käsitellään lyhyesti akuuttia rasitusta ja sen fysiologisia vaikutuksia ihmiselimistössä

2.1 Fyysinen aktiivisuus, kunto ja kestävyyskunto

Fyysisellä aktiivisuudella tarkoitetaan mitä tahansa sellaista luurankolihasaikaansaamaa kehon liikettä, joka kuluttaa energiaa (Caspersen, Powell & Christenson 1985). Kaikki yksilöt ovat jossain määrin fyysisesti aktiivisia: fyysinen aktiivisuus on välttämätöntä selviämisen kannalta. Fyysisen aktiivisuuden määrä on kuitenkin hyvin pitkälle subjektiivisen valinnan tulos, ja se vaihtelee huomattavasti yksilöiden välillä. Fyysisen aktiivisuuden erityistapaus on liikunta, jossa vapaaehtoisen fyysisen aktiivisuuden tavoitteena on esimerkiksi kilpailuun valmistautuminen tai fyysisen kunnan ylläpitäminen (Shephard 1992).

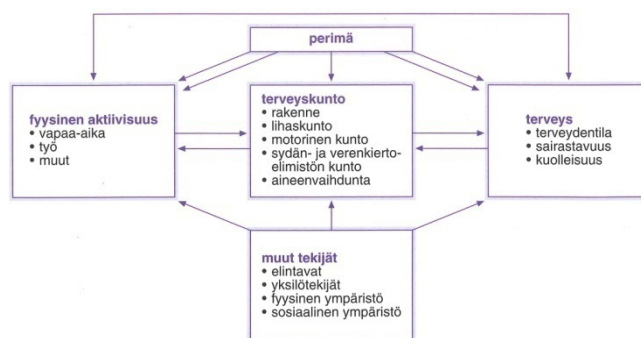
Arkikielessäkin puhutaan usein kunnosta: jonkun sanotaan olevan hyväkuntoinen, ja yleisesti ollaan huolestuneita siitä, kuinka huonokuntoisia esimerkiksi suomalaiset miehet ovat. Kunto tai fyysinen kunto käsitteinä eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä – ne eivät kuvaa mitään yksittäistä muuttujaa, vaan ovat yläkäsitteitä, jotka pitävät sisällään useita eri osa-alueita. Toisaalta fyysinen kunto voidaan yläkäsitteenäkin määritellä monella tavoin: määritelmät perustuvat pääasiassa siihen kohderyhmään, johon kulloinkin viitataan.

Suorituskykyä korostava näkemys. Liikunnan ja urheilun yhteydessä fyysinen kunto määritellään useimmiten suorituskyvyksi: kyvyksi selviytyä fyysisistä suorituksista mahdollisimman pienin ponnistuksin ja tehokkaasti. Tämän suorituskyvyn voidaan katsoa koostuvan neljästä komponentista: fyysisistä suoritustekijöistä ja koordinaatiokyvystä, rakenteellisista tekijöistä ja terveydentilasta, teknis-taktisista kyvyistä ja valmiuksista sekä henkisistä ominaisuuksista. Näistä fyysisiin suoritustekijöihin kuuluvat kestä-

vyys, voima, nopeus, liikkuvuus ja koordinaatiokyky, joita kaikkia voidaan kehittää harjoittelulla. (Bouchard & Shephard 1994.)

Terveyttä korostava näkemys. Monissa tapauksissa edellä kuvattu suorituskykyä korostava näkemys fyysisestä kunnosta (*performance-related fitness*) ei kuitenkaan ole perusteltu, vaan fyysisellä kunnolla tarkoitetaan varsinkin väestötasolla puhuttaessa kykyä suoriutua ongelmitta päivittäisistä askareista valppaana ja tarmokkaana liikaa väsymättä, kykyä nauttia erilaisista fyysisistä harrastuksista ja selviytyä eteen tulevista, fyysisistä ponnistelua edellyttävistä yllättävistäkin tilanteista (Caspersen ym. 1985). Tällöin puhutaan yleisesti myös terveystilasta (*health-related fitness*), joka käsitteenä on syntynyt liikunnan terveystilasta koskevan tiedon karttuessa. (Bouchard & Shephard 1994; Oja 2005.)

Terveyksikunnan osiksi voidaan kutsua niitä rakenteellisia ja toiminnallisia ominaisuuksia, joihin liikunta vaikuttaa, ja jotka liittyvät läheisesti terveydentilaan tai sen kehittymiseen. Bouchard ja Shephard (1994) ovat esittäneet terveystilasta ns. Toronton mallin, jossa terveystilaston komponenteiksi määritellään rakenne (kehon koostumus), lihaskunto, motorinen kunto, hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto sekä metabolinen kunto. Lisäksi malli sisältää terveystilaston sekä fyysisen aktiivisuuden ja itse terveyden välisiä kytkeviä, joita säätelevät perimä sekä monet elintapa-, yksilö- ja ympäristötekijät. Seuraavassa kuviossa on tämä ns. Toronton malli Ojan (2005) suomentamana.



KUVA 1. Terveystilaston ns. Toronton malli Ojan (2005) mukaan.

Rakenne viittaa kehon koostumukseen ja luiden vahvuuteen (Skinner & Oja 1994). *Ke-hon koostumuksella* tarkoitetaan lähinnä kehossa olevan rasvan ja rasvattoman massan suhdetta sekä sitä, miten rasva on jakautunut (Howley 2001). *Lihaskunto* liittyy lihasten

voimakkuuteen, kestävyYTEEN ja joustavuuteen. *Motorinen kunto* on lähinnä kykyä kontrolloida kehon liikkeitä ja ylläpitää toiminnan kannalta relevantteja asentoja (Skinner & Oja 1994). *Sydän- ja verenkiertoelimistön kunnolla* tarkoitetaan sen kykyä toimittaa happea aktiivisille lihaksille erityisesti raskaan fyysisen ponnistelun aikana (Howley 2001). *Aineenvaihdunta* viittaa rasvojen ja hiilihydraattien metaboliaan, ja se määritellään yleensä glukoosinsietona, insuliiniherkkyytenä, rasvahappoprofilina sekä levossa tai tasavauhtisen fyysisen rasituksen aikana hapetettujen rasvojen ja hiilihydraattien suhteena (Bouchard & Shephard 1994).

2.2 Kestävyyskunto ja sen merkitys

Tämän työn kannalta merkittävin terveystason (ja yleisesti fyysisen kunnan) osa-alueista on kestävyyskunto, jota usein kutsutaan myös aerobiseksi kunnoksi. Kestävyyskunnossa on kyse ennen kaikkea hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnosta: kestävyyskuntoa voidaan määritellä sydämen ja keuhkojen kapasiteetiksi toimittaa happea lihassoluille (Bouchard & Shephard 1994). Tätä kapasiteettia kutsutaan maksimaaliseksi hapenotto-kyvyksi, ja se on myös yleisimmin mitattu kestävyyskuntoon liittyvä suure. Hapen kuljetus ilmakehästä supistuvien lihassolujen mitokondrioihin perustuu hengityksen, verenkierron ja solujen aineenvaihdunnan väliseen kytkentään (ns. konduktanssiteoria). Kuljetusketju on erittäin mukautuva: se pystyy kiihdyttämään hapenkuljetuksen normaalisti jopa 10-12-kertaiseksi – huippu-urheilijoilla tätäkin suuremmaksi – lepotilaan verrattuna (Froelicher & Stahr 2005). Tämän kuljetusmekanismin huipputeho on määritelty maksimaaliseksi aerobiseksi tehoksi (*maximal aerobic power*) (Bouchard & Shephard 1994).

Suomessa kestävyyskunnosta on oltu kiinnostuneita ennen kaikkea johtuen sen roolista sydän- ja verisuonitautien ennaltaehkäisijänä: sydän ja verisuonitautien osuus kaikista suomalaisten kuolinsyistä on noin puolet, ne ovat suurin yksittäinen ennenaikaiseen työkyvyttömyyteen johtava sairausryhmä ja merkittävä yhteiskunnallinen kuluera. (Kansanterveyslaitos 2008.) Vähäinen fyysinen aktiivisuus, huono kestävyyskunto ja keskivartalolihavuus ovat suoraan ja välillisesti tekijöitä, jotka lisäävät merkittävästi riskiä sairastua sydän- ja verisuonitauteihin. Varsinkin viime aikoina on saatu selvää tieteellistä näyttöä siitä, että fyysisesti aktiivisten, liikuntaa harrastavien ja kestävyyskunnoltaan hyväkuntoisten ihmisten kokonaiskuolleisuus ja kuolleisuus sydän- ja verisuoni-

tauteihin on matalampi kuin niillä, jotka liikkuvat vähän ja jotka ovat huonokuntoisia riippumatta lihavuuden asteesta. (Borodulin 2006.)

2.3 Kestävyyskunnan arviointi ja mittaaminen

Kestävyyskuntoa (eli aerobista kestävyyttä, maksimaalista hapenottokykyä) voidaan joko arvioida tai mitata. Mittausmenetelmät voidaan lisäksi jakaa epäsuoriin ja suoriin mittausmenetelmiin: epäsuorissa menetelmissä hapenkulutusta ei mitata, vaan se arvioidaan epäsuorasti muiden mitattavien muuttujien avulla. Suorissa mittausmenetelmissä hapenkulutus mitataan rasiuksen aikana yleensä laboratorio-olosuhteissa.

Kestävyyskunnan arviointiin ei liity fyysistä rasiusta, vaan kestävyyskuntoa arvioidaan laajoilla väestötutkimuksilla kerätyn aineiston (ja niistä johdettujen ennusteyhtälöiden) avulla perustuen mm. henkilön massaun, pituuteen, ikään, kehon koostumukseen, itse raportoituun fyysisen aktiivisuuden tasoon ja leposykkeeseen. Ehkä tunnetuin näistä arviointimenetelmistä on ns. Jacksonin (Jackson, Blair, Mahar, Wier, Ross & Stuteville 1990) ennusteyhtälö, jonka on havaittu korreloivan suhteellisen hyvin ainakin joidenkin kestävyyskunnan mittausmenetelmien kanssa. Jacksonin ennusteyhtälöllä kestävyyskuntoa (maksimaalisen hapenkulutuksen arvona) arvioidaan itse ilmoitetun aktiivisuusluokan, iän, pituuden, massan ja sukupuolen perusteella. Teknisempää arviointimenetelmää edustaa joissain sykemittareissa oleva toiminto, joka arvioi maksimaalisen hapenottokyvyn sykevälivaihtelun sekä eräiden muiden käyttäjään liittyvien tietojen (ikä, sukupuoli, massa ja itse raportoitu fyysinen aktiivisuus) perusteella (Kinnunen, Hautala, Mäkikallio, Tulppo & Nissilä 2000, Laukkanen 2004).

Epäsuorissa testeissä maksimaalinen hapenotto arvioidaan rasiuksen yhteydessä jonkin muun mitattavan suureen kuin hapenoton perusteella. Kenttätesteissä maksimaalisen hapenoton arviointi voi perustua joko suoritukseen, esimerkiksi edettyyn matkaan, kuten mm. UKK-kävelytestissä tai Cooperin testissä, tai sykereaktioon, kuten erilaisissa askellustesteissä. Myös moniportaiseen kuormitusmalliin perustuvat submaksimaaliset testit ovat yleisesti käytettyjä: niissä maksimaalisen hapenottokyvyn arviointi perustuu sykereaktioon siten, että arvioinnissa käytetään apuna testattavan tunnettua tai arvioitua maksimisykettä.

Maksimaalisen hapenottokyvyn suorassa testissä koehenkilöä rasitetaan nousevalla kuormituksella uupumukseen saakka, ja samalla mitataan hänen hapenkulutustaan hengityskaasuanalysointorin avulla. Rasitus voidaan suorittaa hyvinkin monella tavalla, ja varsinkin urheilijatestauksessa pyritään yleensä mahdollisimman suureen lajinomaisuuteen. Yleisimmät menetelmät ovat kuitenkin erilaiset juoksumatolla tehtävät juoksu- ja kävelytestit sekä polkupyöräergometrillä suoritettava testi. Juoksumattotestien kuormitusmallit voidaan jakaa kahteen perusluokkaan: nopeusmalliin ja mäkimalliin. Nopeusmallissa kuormitusta lisätään nopeutta kasvattamalla, mäkimallissa taas kasvaa juoksumaton kulma. Suorien testien etuna on niiden tarkkuus. Testit ovat kuitenkin melko suuritöisiä sekä koehenkilön kannalta rasittavia ja epämiellyttäviä, minkä lisäksi testaukseen tarvittava välineistö on suhteellisen harvinaista. (Nummela 2004.)

2.4 Akuutti rasitus ja sen fysiologiset vaikutukset

Rasitus aiheuttaa ihmisen elimistössä joukon toisiinsa liittyviä reaktioita, jotka vaikuttavat käytännössä kaikkiin elimistön fysiologisiin osajärjestelmiin (esim. hengitys- ja verenkiertoelimistö, hermosto, tuki- ja liikuntaelimistö sekä immuuni- ja umpieritysjärjestelmä). Fyysinen rasitus on stimulus, johon elimistö vastaa eräänlaisella hälytystilalla, jonka aikaansaa pääasiassa autonominen hermosto erilaisine neuraalisine ja humoraalisine ohjausmekanismeineen. (Rosenwinkel, Bloomfield, Arwady & Goldsmith 2001.) Tässä työssä huomio on nimenomaan akuutissa rasituksessa. Tällä tarkoitetaan väliaikaista, korkeintaan muutaman tunnin mittaista fyysistä rasitusta, jota seuraa mahdollisuus riittävään lepoon ja palautumiseen. Esimerkki akuutista rasituksesta on yksittäinen liikuntasuoritus tai muu fyysistä ponnistelua vaativa tapahtuma.

Rasituksen fysiologiset vaikutukset. Fyysinen rasitus aiheuttaa merkittävän yleisen aineenvaihdunnan nopeutumisen. Ehkä näkyvin osa tätä nopeutumista on hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminnan kiihtyminen aktiivisen lihaskudoksen riittävän hapensaannin varmistamiseksi. Vasteeseen kuuluvat hengityksen kiihtyminen ja syveneminen vaiheittain, sydämen minuuttitilavuuden kasvu sykkeen ja iskutilavuuden noustessa, luumrankolihasien verisuonituksen vasodilataatio ja passiivisten kudosten verisuonituksen vasokonstriktio. (Väänänen 2004; Hargreaves 2006.) Verenkiertoelimistön toiminnan säätelyä on esitelty tarkemmin luvussa 3.2.2 alkaen sivulta 16. Rasitukseen liittyy myös

parasymptaattisen aktiivisuuden vaimeneminen ja symptaattisen aktiivisuuden lisääntyminen. (Rosenwinkel ym. 2001.)

Myös umpieritysjärjestelmän toiminta muuttuu rasituksessa, mikä sinällään on luonnollista, sillä hormoneja ei yleisestikään eritetä vakionopeudella, vaan erityis vaihtelee huomattavastikin elimistön toiminnallisen tilan kulloisenkin vaiheen mukaan. Rasituksen yhteydessä erityisesti katekoliamiinien (adrenaliinin, noradrenaliinin ja dopamiinin) erityis lisääntyy. Erityksen lisääntyminen liittyy hengitys- ja verenkiertoelimistön toiminnan ja yleisen aineenvaihdunnan säätelyjärjestelmien toimintaan. (Väänänen 2004.) Erityisesti adrenaliinin erityis on suhteessa rasituksen intensiteettiin. Se tunnetaan ”suorituskykyhormonina”, joka mm. kiihdyttää sydämen toimintaa, laajentaa keuhkoputkia ja edistää lihaskudoksen energiansaantia glukoosiaineenvaihduntaan vaikuttamalla. (Despopoulos & Silbernagel 2003, 86, 236.)

Palautuminen rasituksesta. Palautuminen tarkoittaa elimistön rauhoittumista ja aktiivisuustason laskua. Kovatehoisen ja/tai pitkäkestoisen rasituksen jälkeen aineenvaihdunnan taso (mm. syke, ventilaatio ja katekoliamiinien pitoisuudet) on selvästi kohonnut vielä tunteja rasituksen jälkeen, mistä johtuen myös energiankulutus on lepotilaa korkeampaa (Jamurtas ym. 2004; Osterberg & Melby 2000, Speakman & Selman 2003). Kevyehkön (n. 50-65% maksimista) rasituksen jälkeen aineenvaihdunta sen sijaan palaa melko nopeasti lepoaineenvaihdunnan tasolle (Manore & Thompson 2006). Huonokuntoisilla henkilöillä rasitus aiheuttaa suhteellisesti selvästi voimakkaamman ja pidempikestoisen aineenvaihdunnan kiihtymisen kuin hyväkuntoisilla, joilla myös aineenvaihdunnan palautuminen perustasolle tapahtuu selvästi huonokuntoisia nopeammin (Short & Sedlock 1997). Hyväkuntoisilla henkilöillä katekoliamiinien pitoisuudet ovat rasituksen jälkeen tyypillisesti korkeammalla tasolla kuin huonokuntoisilla johtuen siitä, että hyväkuntoisten tekemä absoluuttinen työ on yleensä suurempi. Palautumiseen liittyy autonomisen hermoston toiminnan osalta myös uudelleen alkava tai voimistuva parasymptaattinen aktiivisuus. (Rosenwinkel ym. 2001.) Tilaa, jossa parasymptaattisen hermoston toiminta vallitsee, kutsutaan parasympatikotonukseksi. Parasympatikotonuksen vallitessa elimistö on rentoutunut: syke on rauhallinen, verenpaine laskee, hengitys on syvää ja rauhallista, lihastonus on alentunut ja vireystila laskee. (Galenos 2001, 306; Nienstedt, Hänninen, Arstila & Björkqvist 1999, 544.)

3 SYDÄN, VERENKIERTO JA SYKEVÄLIVAIHTELU

Tässä luvussa esitellään sydämen ja verenkiertoelimistön anatomista rakennetta ja tutustutaan sydämen sykkeen ja verenkierron säätelymekanismeihin.

3.1 Verenkierto

Verenkierto (*circulatio*) on ihmiselimistön tärkein kuljetusjärjestelmä, jonka liikeenergia on peräisin pääasiassa sydäimestä, jonka rakennetta ja toimintaa kuvataan tarkemmin luvussa 3.2 alkaen sivulta 15. Veren mukana kuljetetaan kudosten tarvitsemaa ravintoa, erilaisissa aineenvaihduntareaktioissa syntyneitä kuona-aineita ja kemiallisia viestejä. Kuljetustehtävänsä ohella verenkierto myös tasoittaa eri ruumiinosien välisiä lämpötila-, happamuus- ja muita eroja. (Nienstedt ym. 1999, 185.)

Ihmisen verenkierto koostuu kahdesta, funktionaalisesti erillisestä verenkierrosta: suuresta (*systemic*) ja pienestä (*pulmonary*) verenkierrosta. Suuren verenkierron tehtävänä on lähinnä edellä kuvatun yleisen kuljetustehtävän hoitaminen, ja pieni verenkierto kuljettaa kehossa kiertäneen, hapen luovuttaneen veren keuhkoihin hapetettavaksi. (Nienstedt ym. 1999, 185.) Verenkierrossa kulkevan veren osuus on noin 7 % ihmisen kehon rasvattomasta massasta, miehillä keskimäärin 5,5 l ja naisilla keskimäärin 4,5 l (Despoulos & Silbernagl 2003, 186).

Jos verenkierron toimintaa kuvataan alkaen suuresta verenkierrosta, voidaan tarkastelu aloittaa sydämen vasemmasta eteisestä, josta hapekas veri siirtyy vasempaan kammiioon. Sieltä veri pumpataan aortan kautta suuren verenkiertoon, josta veri palaa ylä- ja alaonttolaskimoiden kautta oikeaan eteiseen ja edelleen oikeaan kammioon. Sydämen oikeasta puoliskosta veri pumpataan keuhkovaltimoiden kautta keuhkoihin, joista hapeitettu veri palaa vasempaan eteiseen keuhkolaskimoa pitkin. (Nienstedt, Hänninen, Arstila & Nienstedt 1980, 113–118.)

Suonia, joissa veri virtaa sydäimestä pois päin, kutsutaan valtimoiksi (eli arterioiksi) verta sydäntä kohti kuljettavien suonien ollessa laskimoita (eli venoja). Yleistäen voidaan sanoa, että verisuonet ovat sitä paksumpia, mitä lähempänä sydäntä ollaan verenkiertoelimistön suljetussa järjestelmässä: sydäimestä etäännyttäessä valtimot haarautuvat yhä

ohuemmiksi ja useimmiksi haaroiksi, joita pitkin päädytään hiussuonien (eli kapillaarien) muodostamaan tiheään verkostoon. Suurin osa ihmiselimestön soluista on jonkin kapillaarin välittömässä läheisyydessä, ja veren ja kudoksen välinen aineiden vaihto tapahtuukin nimenomaan kapillaarien ohuiden seinämien läpi. (Nienstedt ym. 1999, 185.)

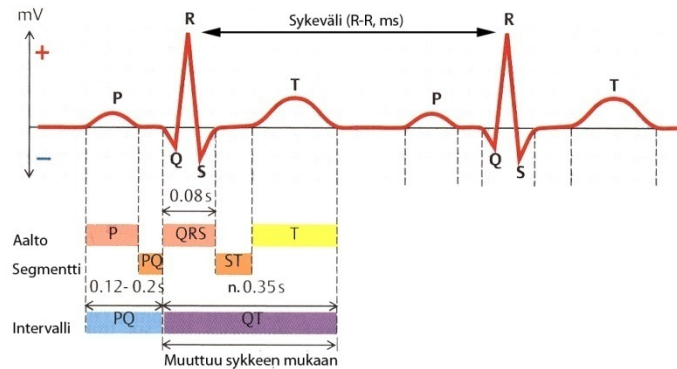
3.2 Sydän

Sydän on ontto, nelilokeroinen (kaksi eteistä; vasen ja oikea sekä kaksi kammiota; niin ikään vasen ja oikea) lihas, joka on erikoistunut pumppaamaan verta verisuonistoon. Se koostuu kahdesta erillisestä puoliskosta, joista vasen puoli pumppaa verta suureen verenkiertoon ja oikea puoli pieneen verenkiertoon. Sikiökauden jälkeen puoliskojen välillä ei normaalitilanteessa ole suoraa yhteyttä, mistä johtuen voidaan sanoa, että sydämessä on käytännössä kaksi erillistä, sarjaan kytkettyä pumppua. (Faller, Schünke & Schünke 2004, 206–212.)

3.2.1 Sydämen toiminnan sisäinen säätely

Sydämen toiminnan merkittävin sisäinen ohjaaja on erikoistuneista sydänlihassyistä muodostunut johtoratajärjestelmä, jossa sydämen aktiopotentiaali (impulssi) syntyy ja siirtyy sydämen eri osiin (Nienstedt ym. 1999, 192–193). Sydämen toimintajakso alkaa, kun oikean eteisen yläosassa, lähellä yläonttolaskimon suuta sijaitseva sinussolmuke (*SA node*) saa aikaan sen käynnistävän impulssin, jonka levitessä kolmen eteisjohtoradan kautta eteisiin ne depolarisoituvat (EKG:n P-aalto) ja supistuvat, jolloin kammioiden täytyminen tehostuu (kammiot täyttyvät tätä ennen myös passiivisesti) (Kupari & Kettunen 2000). Kammioiden puolelle supistumiskäsky kulkee eteis-kammiosolmukkeen (*AV node*) ja ns. Hisin kimpun (eteis-kammiokimpun, *AV bundle*) kautta siten, että ennen kammioihin siirtymistään impulssi hidastuu noin 0,1 sekuntia, mikä mahdollistaa eteisten supistumisen ennen kammioita. Kammioiden supistumisessa voidaan erottaa kolme vaihetta: kammioväliseinän depolarisaatio (EKG:n Q-aalto), kammioiden päämassan depolarisaatio (EKG:n R-aalto) ja kammion etäisten osien depolarisaatio (EKG:n S-aalto). Kammioiden supistumista seuraa kammioiden repolarisaatio ja veltostuminen (EKG:n T-aalto). (McArdle, Katch & Katch 2001, 326–329.) Termillä ”syke” viitataan esim. mittauksissa nimenomaan kammioiden supistumiseen, ja kahden kam-

miosupistuksen välistä aikaa kutsutaan sykeväliksi, joka määritellään yleisesti kahden R-aallon väliseksi ajalliseksi etäisyydeksi, R-R-intervalliksi (Malik ym. 1996). Sydämen toimintasykliä ja sykeväliä havainnollistaa seuraava kuva 2.



KUVA 2. Sydämen toimintasykli ja sykeväli. (Muokattu, alkuperäiskuva Despopoulos & Silbernagl 2003, 197.)

3.2.2 Sydämen toiminnan ja verenkierron ulkoinen säätely

Sinussolmukkeen tuottama sydämen perussyke, jolla sydän sykkii ilman hermostollista tai hormonaalista säätelyä, on henkilöstä riippuen noin 90–120 lyöntiä minuutissa keskiarvon ollessa istuma-asennossa noin 105 (Craft & Schwartz 1995). Tämä rytmi tulee esille esim. ns. parasymptaattisessa reaktiossa, jossa parasymptaattinen hermoärsytys loppuu tai vähenee jonkin muutoksen, esim. seisomaan nousun (ortostaasin) seurauksena.

Sydämen syke ja verenkierto mukautuvat nopeasti erilaisiin muutoksiin. Käytännössä mukautuminen tapahtuu säätelämällä joko sydämen toimintaa (sykettä) tai verisuonien supistustilaa (Faller ym. 2004, 257). Tätä mukautumista ohjaa pääasiassa autonominen hermosto ns. refleksikaaren perustuvien mekanismien avulla: erilaisissa reseptoreissa syntyvät impulssit välittyvät afferenttia (tuovaa) hermorataa pitkin keskushermostoon, missä saatu informaatio käsitellään. Tämän jälkeen efferentin (vievän) hermoradan avulla ohjataan relevantin kudoksen (esim. sileä lihaskudos tai sydänlihaskudos) toimintaa. (Despopoulos & Silbernagl 2003, 78.)

Autonominen hermosto jaetaan yleisesti toiminnallisesti kahteen osaan, sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Tyypillisesti samaa kohde-elintä hermottaa sekä sympaattisia että parasympaattisia hermosyitä, jotka toimivat toistensa vastavaikuttajina, antagonisteina. (Faller ym. 2004, 606.) Esimerkki tästä on autonomisen hermoston vaikutus sydämen sykkeeseen: sympaattinen ärsytys lisää syketiheyttä ja –voimaa sekä nopeuttaa hermoimpulssin johtumista koko sydämen johtoratajärjestelmässä. Vastaavasti parasympaattinen ärsytys hidastaa sykettä, vähentää sydämen sykevoimaa, lisää hermoimpulssin johtumisnopeutta eteisten johtoratajärjestelmässä, mutta hidastaa sitä eteis-kammiosolmukkeessa sekä kammiodien johtoratajärjestelmässä. (Brownley, Hurwitz & Schneidermann 2000; McArdle ym. 2001, 329–331; Piha 1988, 4.) Edellä olevasta on oleellista huomata, ettei sydämen ulkoinen säätely välttämättä vaikuta suoraan sydämeen, vaan usein se vaikuttaa sydämen sisäiseen säätelyjärjestelmään, joka sitten vaikuttaa itse sydämen toimintaan.

Sydämen toiminnan kannalta merkittävät refleksikeskukset ovat kardioinhibitorinen keskus ja vasomotorinen keskus, jotka molemmat sijaitsevat aivojen ydinjatkeessa. Ne säätelevät paitsi verenkierron toimintojen perustasoa (tooninen säätely), niin myös sen nopeita muutoksia (faasinen säätely). (Brownley ym., 2000.) Näiden refleksikeskusten toiminnan kannalta merkittäviä elimistön reseptoreita ovat keuhkojen venytysreseptorit, verenpainetta aistivat baroreseptorit, joita sijaitsee lähinnä aortankaaressa ja kaulavaltimossa sekä lihasten kemo- ja mekanoreseptorit (Antila 1989, 11; Hautala 2004, 22). Sydämen toiminnan parasympaattisen säätelyn kannalta edellä mainituista refleksikeskuksista merkittävämpi on vasomotorinen keskus, jonka pääosan muodostaa kahtaalle kaartuva tumake (*nucleus ambiguus*), joka vastaa vagushermon (kiertäjähermo, 10. aivohermo) toonisesta toiminnasta. Kardioinhibitorinen keskus säätelee syketaajuutta ja eteisten supistuvuutta vagushermon välityksellä sydämeen kohdistuvan parasympaattisen hermoärsytyksen määrää sääten. (Antila 1989, 12.)

Paitsi, että autonominen hermosto vaikuttaa suoraan sydämen sykkeeseen, se vaikuttaa sydämen ja muun verenkiertoelimistön toimintaan myös ns. perifeerisen vastuksen kautta. Perifeerisellä vastuksella tarkoitetaan verisuonien verenkierrolle aiheuttamaa vastusta. Tämän säätelyn mekanismeja ovat vasodilataatio eli verisuonten laajeneminen (jolloin perifeerinen vastus vähenee) ja vasokonstriktio eli verisuonten supistuminen (perifeerinen vastus kasvaa). (Faller ym. 2004, 257.)

Parasympaattisen ja sympaattisen säätelyn nopeudessa nimenomaan sykkeen suhteen on huomattavia eroja. Syke reagoi parasympaattiseen ärsytykseen (vagaaliseen stimulaatioon) noin sekunnissa, mutta sympaattisen ärsytykseen vasta 2-5 sekunnin kuluttua. Erot selittyvät pääasiassa parasympaattisen ja sympaattisen hermoston välittäjäaineiden erilaisilla ominaisuuksilla ja toiminnalla. Parasympaattisessa hermostossa postganglionaarisen hermosolun ja kohdekudoksen välinen välittäjäaine on asetyylikoliini, sympaattisessa hermostossa taas noradrenaliini. Myös välittäjäaineiden takaisinotto eroaa toisistaan: noradrenaliinin takaisinotto on asetyylikoliinin takaisinottoa hitaampaa, mistä johtuen noradrenaliinin (l. sympaattisen hermoston) aiheuttamat muutokset esim. sykkeessä ovat pitkäkestoisempia kuin asetyylikoliinin aiheuttamat muutokset (vrt. esim. edellä mainittu parasympaattinen reaktio). (Winsley, 2002.)

3.3 Sykevälivaihtelu ja sen komponentit

Vaikka sydämen syke saattaakin vaikuttaa kiinteältä ja säännölliseltä, niin kuten edellisessä luvussa todettiin, siihen vaikuttaa jatkuvasti suuri joukko erilaisia tekijöitä, minkä seurauksena syke on hyvin vaihteleva ja responsiivinen. Tämä havaittiin itse asiassa jo 1700-luvulla, jolloin Hales raportoi sykkeessä lyhyellä aikavälillä havaitsemistaan vaihteluista (Tuomainen 2005, 38). Tässä luvussa esitellään sykevälivaihtelu ilmiönä ja käydään lyhyesti läpi eräitä siihen vaikuttavia seikkoja.

Edellä kappaleessa 3.2.1 sykeväli määriteltiin elektrokardiogrammista määritetyksi kahden peräkkäisen R-aallon väliseksi ajalliseksi etäisyydeksi, jonka yksikkönä on tyyppillisesti millisekunti (ms, 1/1000 s). Tämän perusteella sykevälivaihtelu voidaan määrittellä näiden sykevälien (R-R-intervallien) ajallisen etäisyyden (keston) vaihteluksi. Suomenkielisessä kirjallisuudessa sykevälivaihtelusta käytetään usein myös termejä sykevaihtelu tai sykevariaatio, mutta tässä työssä on päädytty käyttämään termiä sykevälivaihtelu, koska se karkealla tasolla selittää ilmiön jo pelkkänä terminä.

Sykevälin määrittely R-R-intervallina on yleisesti hyväksytty käytäntö, vaikka itse asiassa sykeväli kannattaisi määrittellä P-P-intervallina: ts. siis aikana eteissupistuksen alusta seuraavan eteissupistuksen alkuun. P-P-intervallin luotettava määrittäminen on kuitenkin vaikeampaa kuin R-R-intervallin määrittäminen, mistä johtuen on päädytty nykyiseen käytäntöön. (Tuomainen 2005, 39.)

Sykevälivaihtelu voidaan jakaa kolmeen komponenttiin. Tällöin voidaan puhua respiratorisesta komponentista, verenpainekomponentista ja matalataajuisista komponenteista.

3.3.1 Respiratorinen komponentti

Varsinkin nuorilla ihmisillä on havaittavissa respiratoriseksi arytmiaksi tai sinusarytmiaksi (*respiratory sinus arrhythmia*) kutsuttu sykevälin vaihtelu, joka liittyy hengitysrytmiin. Siinä sydämen syke nopeutuu (eli sykeväli lyhenee) sisäänhengityksen aikana hidastuakseen jälleen uloshengityksessä. (Despopoulos ym. 2003, 200; Nienstedt ym. 1999, 193.) Myös verenpaineessa on havaittavissa muutoksia: sisäänhengityksen aikana verenpaine laskee, uloshengityksen aikana se nousee (Mason & Patterson 2003). Respiratorisen arytmiian aiheuttaa parasympaattisen hermoston toiminnan muuttuminen hengitysvaiheen mukaan (Nienstedt ym. 1999, 193). Keuhkoissa olevien venytysreseptoreiden afferenttien hermosyiden välittämä informaatio saa refleksikeskuksessa aikaan efferentin parasympaattisen ärsytyksen vähenemisen, mikä taas kiihdyttää sykettä. Respiratorinen arytmia näkyy korkeataajuisena (0,15–0,4 Hz) sykevälivaihteluna, minkä uskotaan kertovan sykkeen vagoalisesta säätelystä. Hengitystilavuuden (*tidal volume*) kasvu näyttäisi lisäävän korkeataajuisia sykevälivaihtelua hengitystaajuuden laskun lisätessä matalataajuisia (0,04–0,15 Hz) sykevälivaihtelua. (Tuomainen 2005, 39.)

Edellä todettiin respiratorisen arytmiian johtuvan autonomisen hermoston hengityksen aikaisista muutoksista. Tähän liittyen täytyy kuitenkin todeta, että myös sydänsiirtopotiilla on havaittu jonkinasteinen respiratorinen arytmia, mikä antaa aiheen olettaa, että respiratoriseen arytmiiaan vaikuttavat autonomisen säätelyn ohella myös jotkin muut mekanismit, joita ei kuitenkaan vielä toistaiseksi tunneta. (Winsley 2002.)

3.3.2 Verenpainekomponentti

Suurten valtimoiden (aortan kaaren ja kaulavaltimon) verenpainetta aistivien ns. baroreseptoreiden lähettämien afferenttien impulssien vaikutuksesta autonominen hermosto säätelee verenpainetta syketiheyttä ja -voimaa muuttaen, mikä näkyy sykkeessä 0,1 Hz taajuudella havaittavissa olevana matalataajuisena sykevälivaihteluna. Tätä mekanismia kutsutaan barorefleksiksi, ja sen tarkoituksena on pyrkiä vastustamaan valtimoverenpaineen liiallista laskua. Barorefleksikin on vagushermon säätelämä. (Forsström & Antila 1989, 81.)

3.3.3 Hyvin ja erittäin matalataajuiset komponentit

Hyvin matalataajuisella sykevälivaihtelulla tarkoitetaan vaihtelua, jonka taajuus on 0,003–0,04 Hz ja erittäin matalataajuisella sykevälivaihtelulla vaihtelua, jonka taajuus on $\leq 0,003$ Hz. Niiden fysiologinen tausta on tällä hetkellä vielä suhteellisen epäselvä, mikä on ikävää erityisesti siksi, että näihin komponentteihin kuuluva sykevälivaihtelu edustaa yli 90 % kaikesta siitä sykevälivaihtelusta, joka havaitaan erittäin pitkissä mitauksissa, esimerkiksi 24 tunnin Holter-tutkimuksissa (ambulatorinen EKG:n vuorokausirekisteröinti 3-kanavaisella laitteella). (Tuomainen 2005, 39.)

Matalasta taajuudesta johtuen on syytä olettaa, että hyvin ja erittäin matalataajuisen sykevälivaihtelun aiheuttavat monet hitaat säätelymekanismit, esim. lämmönsäätely, munuaispaineen säätelyyn liittyvä reniinin (munuaisten tuottama entsyymi) ja angiotensininiin (aldosteronin [eräs lisämunuaiskuoren erittämä mineralokortikoidi eli steroidihormoni] eritystä lisäävä, verenpainetta kohottava hormoni) vuorovaikutus (*renin-angiotensin system*) sekä kehon sirkadiaanisiet rytmit. (Forsström & Antila 1989, 81; Tuomainen 2005, 40.)

3.4 Sykevälivaihtelun mittaaminen ja analysointi

Sykevälivaihtelun mittaamisen peruslähtökohta on sinällään hyvin yksinkertainen: sykevälivaihtelu saadaan selville, kun sykevälien kesto mitataan, tyypillisesti millisekunnin tarkkuudella ja saatuja mittaustuloksia verrataan toisiinsa – jos niissä on eroja, on havaittu sykevälivaihtelua. Tämä tieto ei kuitenkaan yleensä ole vielä erityisen käyttökelpoista: tietoa kertyy valtavasti: keskimääräisellä 60 bpm leposykkeelläkin sydän sykähtää tunnissa 3600 ja vuorokaudessa 86 400 kertaa – sykevälejä on lähes saman verran (itse asiassa vain yksi vähemmän kuin sykähdyksiä tarkastelujaksolla). Tästä johtuen sykedataa analysoidaan tyypillisesti erilaisilla menetelmillä, joista yleisimpiä on lyhyesti esitelty seuraavassa.

3.4.1 Aikakenttäanalyysi

Aikakenttäanalyysi kuvaa sekä sykevaihtelun määrää että syketasoa. Yksinkertaisimmat aikakenttäanalyysin muuttujat, jotka sykedatasta voidaan laskea, ovat keskisyke, R-R-intervallien keskiarvo, R-R-intervallien maksimiarvo, R-R-intervallien minimiarvo sekä

maksimim ja minimin erotus. Lisäksi voidaan laskea sykevälien keskihajonta (joka on yleisesti käytetyin menetelmä) ja varianssin neliöjuuri. Sykevälien keskihajonta (SDANN) kuvaa sykevälivaihtelun määrää kokonaisuudessaan, mutta sen avulla ei voida arvioida sykkeestä sykkeeseen tapahtuvaa sykevälivaihtelua, jonka arvioimiseen käytetään usein peräkkäisten sykähdysten välien erotusten keskihajontaa (SDsd), jota pidetään hyvänä parasympaattisen hermotuksen vaikutusten arviointimenetelmänä. Myös peräkkäisten, yli 50 ms toisistaan poikkeavien sykevälien osuus kaikista sykeväleistä (pNN50) analysoidaan usein – se kuvaa niin ikään parasympaattisen aktiivisuuden vaihtelua. Lisäksi voidaan laskea toisiaan seuraavien sykevälien neliöiden keskiarvon neliöjuuri (keskineliön neliöjuuri, RMSSD). (Malik ym. 1996.)

Aikakenttäanalyysien ongelmana on se, että ne ovat herkkiä häiriöille ja epätarkkoja fysiologisissa mittauksissa. Niinpä niitä voidaankin käyttää vain suodatetulle EKG:lle, josta on poistettu häiriöt ja ektooppiset (normaalista poikkeavat) sykähdykset. (Laitio ym. 2001.)

3.4.2 Taajuuskenttäanalyysi

Taajuuskenttäanalyysissa kuvataan taajuusvaihtelun määrää eri frekvenssialueilla, eli se kuvaa ainoastaan sykevälivaihtelua. Sykevaihtelussa voidaan erottaa kolme eri frekvenssialuetta: korkeataajuuksinen (HFP, *high frequency power*, 0,15–0,4 Hz; lähes kokonaan parasympaattisen aktivaation aiheuttama sykevälivaihtelu), matalataajuuksinen (LFP, *low frequency power*, 0,04–0,15 Hz; sekä sympaattisen että parasympaattisen aiheuttama sykevälivaihtelu, joka on yhteydessä barorefleksiin) ja erittäin matalataajuuksinen (VLFP, *very low frequency power*, 0,004–0,04 Hz; fysiologinen syntymekanismi suhteellisen tuntematon). Taajuuskenttäanalyysissa sykevaihtelun eri taajuuksien määrä mitataan, minkä jälkeen vaihtelun voima (amplitudin neliö) lasketaan kullekin taajuuskaistalle. Taajuuskenttäanalyysi kykenee aikakenttäanalyysija paremmin erottamaan parasympaattisen ja sympaattisen aktivaation aiheuttaman sykevälivaihtelun toisistaan, ja sen avulla voidaan jossain määrin arvioida myös ns. sympato-vagaalista tasapainoa. (Huikuri ym. 1992; Huikuri ym. 1993; Laitio ym. 2001.)

3.4.3 Paluukuvaus

Paluukuvauksessa (*poincaré plot*) kukin sykeväli merkitään X-Y-koordinaatistoon siten, että vaaka-akselilla on aina edellinen arvo ja Y-akselilla sitä seuraava arvo. Saadusta pistejoukosta tehdään visuaalinen tarkastelu. Terveillä ihmisillä koordinaatistoon muodostuu komeetan mallinen pistejoukko. Pistejoukolle voidaan suorittaa myös kvantitatiivinen analyysi kahden akselin avulla. Akselin asetetaan toisiinsa nähden kohtisuoraan siten, että niiden leikkauspiste on keskimääräisen sykevälivaihtelun kohdalla. Pisteiden etäisyyksistä akseleihin voidaan laskea kaksi keskihajontaa, joista toinen mittaa välitöntä lyönti lyönniltä –hajontaa ja toinen pitkän ajan sykevälivaihtelua. Keskihajontojen suhde kuvaa siten sympato-vagaalista tasapainoa, ja paluukuvausta pidetäänkin usein taajuuskenttäanalyysia parempana sen kuvaamisessa. (Laitio ym. 2001.)

3.4.4 Approksimatiivinen entropia ja DFA

Approksimatiivinen entropia ja DFA ovat matemaattisesti suhteellisen monimutkaisia menetelmiä, joiden avulla sykevälivaihtelua voidaan analysoida aiempia menetelmiä hienovaraisemmin.

Entropialla tarkoitetaan hajaantumisasetta. Approksimatiivinen entropia kuvaakin siis sykevälivaihtelun satunnaisuutta: entropian kasvaessa sykevälivaihtelun epäsäännöllisyys kasvaa. Jos sykeväli vaihtelee säännöllisesti, on entropia vähäistä. Approksimatiivisessa entropiassa sykevälit esitetään vektoreina. (Laitio ym. 2001.)

Kaaosteorialla tarkoitetaan teoriaa, jonka mukaan jonkin tietyn systeemin tila riippuu aina sitä edeltäneestä tilasta, joka puolestaan riippuu sitä edeltäneestä tilasta siten, että vaikka kaaottinen systeemi näyttää satunnaiselta, se on täysin periodinen. Fraktaalit ovat kaaosteoriassa sarjoja, jotka toistavat itseään loputtomasti. Sydämen sykkeen aikasarjana esitettynä on havaittu olevan fraktaalien kaltainen. DFA-analyysissa (*detrended fluctuation analysis*) sykedataa käsitellään fraktaaleina, ja sen avulla sykkeen fraktaalikorrelaatio voidaan kvantifioida. Fraktaalityyppisen analyysin erityispiirre on sen ennustuskyky: jos sykevälien välillä vallitsee sisäinen korrelaatio, voidaan sykevälien muutoksia ennustaa periaatteessa äärettömästi. (Laitio ym. 2001; Mäkikallio 1998, 33.)

Lisäksi sykevälivaihtelun analysointiin voidaan käyttää myös neuraalilaskentaa, jossa tietojenkäsittelyssä pyritään jäljittelemään ihmisen hermoston toimintaa. Tällöin käytettävä malli paranee koko ajan sen oppiessa aineiston muuttujien epälineaarisia suhteita suoraan havaintoaineistosta ilman eksplisiittisiä päättelysääntöjä. (Saalasti 2003.)

4 VIGILANSSI JA OPPIMINEN

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa käytettyjä kognitiivisen suoriutumisen komponentteja, vigilanssia ja oppimista, niiden mittaamista sekä tekijöitä, jotka vaikuttavat yleisesti kognitiiviseen suoriutumiseen ja sitä kautta myös vigilanssiin ja oppimiseen.

4.1 Vigilanssi

Jo kauan sitten havaittiin, että ihmisen on suhteellisen vaikea keskittää huomionsa yhteen kohteeseen hyvin pitkäksi aikaa. Tämä on muodostunut ongelmaksi erityisesti moderneissa yhteiskunnissa, joissa kyky ylläpitää tarkkaavaisuutta pitkiä aikoja on erittäin tärkeä mm. monissa ammateissa ja tehtävissä – esimerkiksi erilaisissa teollisuuden tarkkailutehtävissä, sotilaallisessa toiminnassa tai vaikkapa lennonjohdossa. Pitkään ylläpidettyä tarkkaavaisuutta ja siihen liittyvää toimintavalmiutta kutsutaan psykologiassa yleisesti vigilanssiksi. Vaikka vigilanssi on kiinnostava ja tärkeä ilmiö jo sellaisenaan, niin myös vigilanssin puutteet voivat olla kiinnostavia: ne voivat kertoa monista kliinisistä tai neurologisista ongelmista kuten esimerkiksi skitsofreniasta, epilepsiasta tai aivovammasta (Matthews, Davies, Westerman & Stammers 2000, 107).

Vigilanssi ilmiönä on ollut tunnettu jo yli vuosisadan. William James totesi jo vuonna 1890, ettei ihminen pysty ylläpitämään täysin herpaantumaton tarkkaavaisuutta muutamaa sekuntia pidempään (James 1890, 420, Matthews ym. 2000, 107 mukaan) Termiä ”vigilanssi” lienee käytetty ensimmäisen kerran vuonna 1923, jolloin Head (1923, Matthews ym. 2000, 107 mukaan) määritteli vigilanssin tietyn keskushermoston osan integraatioksi ja adaptaatioksi, jonka ansiosta yksilö on valmiimpi vastaanottamaan ärsykkeen ja reagoimaan siihen soveliaalla tavalla. Maailmansotien välisenä aikana vigilanssi ilmiönä kiinnosti lähinnä lisääntyvän massatuotannon näkökulmasta, mutta varsinkin voimallisempi, laboratoriotasoinen vigilanssitutkimus käynnistyi toisen maailmansodan syytyttyä.

Vuonna 1943 Ison-Britannian ilmavoimat (RAF) pyysi Norman Mackworthia kehittämään testin, jolla saataisiin selville optimaalinen aika, jonka henkilö voi tehokkaasti tarkkailla tutkanäyttöä ilman, että hänen valppautensa vähenee niin, että tärkeitä kohteita jää havaitsematta. Toimeksiannon taustalla oli havainto siitä, että liian moni saksalai-

nen sukellusvene jäi havaitsematta varsinkin lentokoneissa työskennelleiltä tutkaoperaattoreilta. Mackworth kehitti toimeksiannon perusteella nimeään kantavan Mackworthin kellotestin, joka on yksi yleisimmistä nykyisinkin käytössä olevista vigilanssitesteistä (Matthews ym. 2000, 108.)

Mackworthin (1957, 389-390) mukaan vigilanssissa on kyse valmiudesta havaita sattumanvaraisin väliajoin esiintyviä, pieniä ympäristön muutoksia ja reagoida niihin. Suomeksi vigilanssia kutsutaan usein valppaudeksi. Mackworthin ja Headin määritelmät ovat hyvin samankaltaisia: molemmissa on lähtökohtana se, että vigilanssissa on pohjimmiltaan kyse tietystä keskushermoston tilasta, jonka ansiosta yksilö pystyy diskriminatiiviseen vasteeseen: siis siihen, että hän reagoi vain tiettyyn, ennalta määrättyyn ärsykkeeseen.

Vigilanssi on sukua muutamalle muulle yleisesti käytetylle psykologian käsitteelle, joista tärkeimpiä tämän tutkimuksen kannalta ovat vireys (*alertness*) ja tarkkaavaisuus (*attention*). Oikeastaan voidaan sanoa, että vigilanssi eli valppaus on vireyden ja tarkkaavaisuuden summa. Joskus tarkkaavaisuus ja vigilanssi myös samastetaan kuitenkin siten, että vigilanssista puhuttaessa korostetaan aina olevan kyse tarkkaavaisuudesta pidempikestoista keskittymistä vaativassa tehtävässä (Koivisto 2006).

4.1.1 Vireys

Vireydessä on pohjimmiltaan kyse toimintavalmiudesta, ja aivan perustasolla sillä tarkoitetaan unen ja valvetilan vuorottelua. Vireydessä ei kuitenkaan ole kyse dikotomisista: myös valveilla ollessa ihmisen vireys vaihtelee mm. ulkoisten ärsykkeiden, mielialan ja hermoston säätelymekanismien seurauksena. Vireyden muutos aiheuttaa myös fysiologisia muutoksia: autonomisen hermoston toiminnan vaihdellessa mm. syke- ja hengitystaajuus vaihtelevat. (Vilkko-Riihelä 1999, 132.) Vireys ja sen tutkimus on ollut perinteisesti yhden psykologian osa-alueen, psykofysiologian aluetta. Yksi psykofysiologian perusteorioista on ns. vireysteoria (*arousal theory*), jonka mukaan aivojen toimintavalmiuden vaihtelu on monien ihmisen kognitiivisessa suoriutumisessa havaittujen vaihteluiden takana. Vireystilan arvioinnissa käytetään tyypillisesti erilaisia laboratoriomittauksia, mm. keskushermoston toiminnan suoraa mittaamista EEG:n (elektroenkefalografia, aivojen sähköisen toiminnan rekisteröinti) avulla tai autonomisen hermoston

toiminnan arvioimista esimerkiksi ihon sähkönjohtavuuden tai sykkeen mittaamisen avulla. Nykyisin myös uusimmat kuvantamismenetelmät, ennen kaikkea positroniemissiotomografia (PET), mahdollistavat aivojen toiminnan hyvinkin tarkan seuraamisen. (Matthews ym. 2000, 41.)

Hermostollisella tasolla vireyttä säätelee aivorungossa sijaitseva aivoverkosto (*formatio reticularis trunci encephali*). Se on aivorungon läpi ulottuva hermosolujen ja hermosyiden epäselväärajainen verkko, joka osallistuu mm. autonomisten toimintojen (esim. hengitys ja sydämen toiminta), liiketoimintojen (esim. lihastonus ja refleksit) sekä uni-valverytmin säätelyyn. Kun ärsyke kohtaa reseptorin, se kulkeutuu aivoissa omalle projektioalueelleen, ja samalla aivoverkoston vireysjärjestelmät aktivoituvat, jolloin ärsyke välittyy talamuksen kautta aivokuorelle (afferentit eli nousevat hermoradat), jossa tapahtuu ärsykkeen tulkinta ja arviointi. Laskevien (eli efferenttien) ratojen kautta välittyy palaute. Aivokuoren tulkinnat ja aivoverkoston yhteistyö vastaavat kullekin toiminnalle sopivan vireystilan ylläpidosta. (Vilkko-Riihelä 1999, 134-135.)

4.1.2 Tarkkaavaisuus

Tarkkaavaisuudella tarkoitetaan ihmisen kykyä valita tietty informaatio (ärsyke) tarkemman havainnoinnin ja tarkastelun kohteeksi jonkin muun informaation tai ärsykkeen jäädessä samalla huomiotta (Atkinson, Atkinson, Smith, Bem & Nolen-Hoeksema 2000, 172). Tarkkaavaisuudessa on käytännössä kyse tietoisuudesta: ihminen on tietoinen ärsykkeistä, joiden vaste aivokuorella on voimakas, mutta heikot ärsykkeet jäävät huomiotta (Kalat 2007, 442). Jaettu tarkkaavaisuus tarkoittaa tilannetta, jossa on samanaikaisesti tarkkailtavana useampia eri informaatiolähteitä (Atkinson ym. 2000, 173). Vastaavasti voidaan puhua suppeasta ja laaja-alaisesta tarkkaavaisuudesta. Tarkkaavaisuus voi olla tiedostettua tai tahatonta: tahaton tarkkaavaisuus tarkoittaa sitä, että jokin ärsyke saa ihmisen tahtomattaan muuttamaan tarkkaavaisuutensa kohdetta. (Vilkko-Riihelä 1999, 283.)

Tarkkaavaisuudessakin on kyse aivojen sähköjen toiminnan muutoksista. Ärsyke, joka tiedostetaan, aiheuttaa aivokuorella mitattavissa olevan reaktion. Knudsen (2007) on jakanut tarkkaavaisuuden neljään prosessiin. Ensimmäisessä prosessissa aivokuorella tapahtuu valinta siitä, mitkä ärsykkeet valitaan tarkemman analyysin kohteeksi – tähän

viittaa mm. se, että EEG-mittauksissa on havaittu huomioitavien ja huomiotta jäävien tuottavan aivokuorella ensimmäisten noin 200-250 millisekunnin ajan samanlaisen sähköisen vasteen. Tarkemman analyysin kohteeksi valitut ärsykkeet siirretään tämän jälkeen työmuistiin (lyhytkestoinen muisti, tästä tarkemmin myöhemmin muistia ja oppimista käsittelevässä alaluvussa 4.3.2 alkaen sivulta 33). Työmuistissa olevan ärsykkeen laatu (onko kyseessä esim. visuaalinen vai auditiivinen ärsyke) ja ärsykkeen analysointi (*top-down sensitivity control*) vaikuttavat siihen, mitkä aivojen alueet aktivoituvat, ja missä ärsykkeen lopullinen käsittely tapahtuu. Lisäksi Knudsenin mallissa tarkkaavaisuusjärjestelmään kuuluu erityisiä keskeissuotimia (*saliency filter*), joiden tehtävänä on suodattaa välittömään käsittelyyn huomattavasti normaalista poikkeavat, mahdollisesti välitöntä reaktiota vaativat ärsykkeet (esim. tieto tahattomista tasapainon ylläpitoa uhkaavista asennonmuutoksista).

Tarkkaavaisuudesta näyttäisi olevan hyvin pitkälle vastuussa oikea etuaivolohko: sen vauriot haittaavat merkittävästi tarkkaavaisuutta, ja tarkkaavaisuushäiriöistä kärsivillä se on usein normaalia pienempi. Myös pikkuaivot ovat tarkkaavaisuushäiriöstä kärsivillä usein normaaleja pienemmät. Katekoliamiineihin kuuluvalla dopamiinilla näyttäisi olevan siltäkin rooli tarkkaavaisuuden ylläpidossa: esim. tarkkaavaisuushäiriöiden hoidossa käytettyjen metyyliifenidaatin ja erilaisten amfetamiinijohdannaisien vaikutus perustuu nimenomaan dopamiinin määrän ja dopamiiniherkkyyden säätelyyn. (Kalat 2007, 445-446.)

4.2 Vigilanssiteorioista

Useimmissa vigilanssitutkimuksissa on havaittu, että vigilanssi heikkenee lähes aina noin puolen tunnin jälkeen mittauksen tai tehtävän alkamisesta (Davies & Parasuraman 1982; Krueger 1989; Mackworth 1950). Suorituksen heikkenemistä on kuitenkin havaittu myös puolta tuntia lyhyemmissä mittauksissa, joten mittauksen kesto sinällään ei ole vigilanssin heikkenemistä selittävä tekijä (Craig, Davies & Matthews 1987; Matthews, Davies & Lees, 1990; Nuechterlein, Parasuraman & Jiang, 1983). Mittauksen tai tehtävän (alan tutkimuskirjallisuudessa puhutaan yleisesti vigilanssitehtävistä, *vigilance task*) luonteella sen sijaan näyttäisi olevan merkitystä: suorituskyvyn heikkenemistä havaitaan harvemmin tehtävissä tai mittauksissa, joissa seurataan useampaa kohdetta kerrallaan tai tehtävissä, joissa havaittava signaali on monimutkainen (Broadbent 1950, 23; Moray,

Haudegond & Delange 1999). Tätä havaittua vigilanssisuorituskyvyn heikkenemistä on pyritty selittämään monilla eri teorioilla. Seuraavassa on esitetty niistä viisi yleisimmin hyväksyttyä. Teorioihin liittyen on kuitenkin syytä muistaa, ettei vigilanssia ilmiönä vielä – eikä todennäköisesti koskaan – tunneta täysin absoluuttisesti. Todennäköisesti tilanne on se, ettei vigilanssia voida selittää vain yhdellä tekijällä tai teoriolla, vaan siihen vaikuttavat lukuisat eri tekijät, joiden tulosta ”kokonaisvigilanssi” on.

4.2.1 Inhibitio- ja habituaatioteoriat

Mackworthin (1950) mukaan vigilanssin heikentyminen voidaan selittää samalla tavalla kuin ehdollisen reaktion katoaminen klassisen ehdollistumisen teoriassa tilanteessa, jossa reaktiota ei enää vahvisteta. Havaittujen ärsykkeiden määrän väheneminen selitetään kasautuvalla inhibitiolla, eräänlaisella väsymyksellä, joka loppujen lopuksi johtaa siihen, ettei ärsykettä enää havaita ja toivottu reaktio jää toteutumatta. Inhibition kasautumista voidaan Mackworthin mukaan estää toisaalta tuloksesta annettavalla jatkuvalla palautteella ja toisaalta ”spontaanin palautumisen” mahdollistavilla lepotauoilla. Teoria pyrkii selittämään ainoastaan vigilanssin heikentymistä pidempikestoisessa vigilanssitehtävässä, ei yleistä heikkoa suoriutumista vigilanssitesteissä. Inhibitio teoriaa on kritisoitu siitä, että vaikka vigilanssin pitäisi heiketä sitä nopeammin, mitä nopeammassa tahdissa ärsykeitä esitetään, näin ei todellisuudessa käy, vaan kehitys on itse asiassa täysin päinvastaista (Davies & Parasuraman 1982).

Toinen Mackworth, Jane, esitti (1968, 1969), että vigilanssisuorituskyvyn heikkeneminen johtuu habituaatiosta. Habituaatiolla tarkoitetaan hermoärsykkeiden huomattavaa vähenemistä tilanteessa, jossa sama stimulus tai siihen läheisesti liittyvä toinen stimulus havaitaan useaan kertaan peräkkäin. Suomeksi ilmiötä voisi ehkä kuvata parhaiten sanalla turtuminen. Myöskään habituaatioteoriaa ei ole onnistuttu aukottomasti todistamaan.

4.2.2 Suodatusteoria

Broadbentin (1958) suodatusteorian perusajatus on se, että ihminen suodattaa osan informaatiosta jatkokäsittelyyn ja hylkää muun informaation. Teorian mukaan keskittyminen pitkään samaan informaation lähteeseen (niin kuin tyypillisessä vigilanssitehtävässä yleisesti tehdään) johtaa jossain vaiheessa ajoittaisiin tarkkaavaisuuden taukoihin,

eräänlaisiin ”silmänräpäyksiin” johtuen siitä, että hypoteettinen mekanismi, jonka katsotaan olevan vastuussa informaation suodattamisesta, suosii kussakin tilanteessa uutta informaatiota. Vigilanssitehtävissä niiden sisältämä informaatio säilyy kuta kuinkin samana, mikä johtaa tehtävän kannalta epärelevantin informaation havainnointiin ja vigilanssisuorituskyvyn laskuun.

4.2.3 Odotettavuusteoria

Odotettavuusteorian perusajatus on se, että havainnoitsija pyrkii ennakoimaan, milloin havaittava ärsyke esiintyy perustuen ärsykkeiden esiintymiseen aiemmin. Käytännössä tilanne on siis sama kuin esimerkiksi vaikkapa majakan valon heijastumisessa: valo heijastuu säännöllisin väliajoin, jolloin tehtävä, jossa pitää reagoida majakan valon heijastumiseen, ei ole erityisen vaativa, vaan reaktiosta voi kehittyä lähes automaattinen. Vigilanssitehtävissä odotettavuusteorian kannalta merkittäviä tekijöitä ovat havaittavien ärsykkeiden esiintymisen säännöllisyys ja ajallinen etäisyys (Deese 1955). Mitä harvemmin havaittava signaali esiintyy, sitä voimakkaammin vigilanssisuorituskyky heikkenee ajan kuluessa.

4.2.4 Resurssiteoria

Resurssiteorian lähtökohtana on ajatus siitä, että kullakin yksilöllä on tietyt, rajalliset voimavarat käytännössä kaikkien kognitiivisten tehtävien suorittamiseen, ja kun nämä voimavarat alkavat ehtyä, suorituskykykin heikkenee (Parasuraman & Mouloua 1987). Resurssiteoria antaa aiheen olettaa, että mitä haastavammasta kognitiivisesta tehtävästä on kyse, sitä varmemmin ja nopeammin suorituskyvyn heikkenemistä alkaa esiintyä. Empiiriset havainnot tukevat tätä ajatusta paitsi kognitiivisten tehtävien suhteen yleisesti, niin myös vigilanssitehtävien kyseessä ollen: kun vigilanssitehtävissä on paljon ärsykejä, joiden välinen ajallinen etäisyys on pieni, suorituskyky näyttäisi heikkenevän nopeammin kuin päivittäisessä tilanteessa (Parasuraman 1985).

4.2.5 Vireys- ja toimintavalmiusteoria

Vireys- ja toimintavalmiusteorian mukaan pidempikestoisen suorituksen aikana keskushermoston vireyden ja toimintavalmiuden tila alenee väistämättä, mikä vuorostaan johtaa suoriutumisen – siis esimerkiksi vigilanssisuorituskyvyn alenemiseen (Duffy

1962). Vireyttä ja sen säätelyä käsiteltiin tarkemmin jo edellä luvussa 4.1.1 sivulla 25. Selitysmalli on hyvinkin uskottava: pidempikestoisten vigilanssitehtävien aikana on usein havaittu vireystilan laskuun viittaavia psykofysiologisia muutoksia (Davies & Parasuraman 1982; Parasuraman 1984) ja koehenkilöt ovat raportoineet tylsistymisestä (Davies, Shackleton & Parasuraman 1983). Lisäksi jo Mackworth (1950) huomasi, että monet psykomotoriset stimulantit, mm. amfetamiini, vaikuttavat erittäin positiivisesti vigilanssisuorituskykyyn.

Vireyden ja toimintavalmiuden muutoksia vigilanssitehtävien aikana on tutkittu sekä EEG-mittauksilla että tapahtumasidonnaisia jännitevasteita¹ (*ERP, event related potential*) mittaamalla. Useimpien tutkimusten mukaan vigilanssitehtävän edetessä (ja suorituskyvyn vastaavasti heiketessä) EEG:n taajuusspektri supistuu ja aivojen sähköinen toiminta hidastuu. Tapahtumasidonnaisessa jännitevasteaktiiviteetissa on vigilanssisuorituskyvyn heiketessä havaittu yleistä heikkenemistä (sekä amplitudi että esiintyvyys). (Matthews ym. 2000, 123.) Tämän perusteella näyttäisi siltä, että vireyden ja toimintavalmiuden tila todellakin vähenee pidempään jatkuvan vigilanssitehtävän aikana. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita sitä, että vigilanssisuorituksen heikkeneminen olisi seurausta tästä. Parasuraman (1984) mm. on raportoinut tutkimuksista, joissa on havaittu mittaamalla edellä kuvattu vireyden ja toimintavalmiuden väheneminen, mutta joissa ei kuitenkaan ole havaittu heikkenemistä vigilanssisuorituskykyssä.

4.3 Oppiminen

Nimenomaan oppimiskyky on se tekijä, jonka ansiota on ihmislajin ylivertainen asema muiden lajien joukossa. Ihmisen oppimiskyky näyttää olevan lähes rajaton: ihminen voi oppia esimerkiksi kieliä, matematiikkaa, motorisia taitoja jne. tehokkaammin ja syvällisemmin kuin yksikään muu laji. Oppiminen ja muisti liittyvät erottamattomasti yhteen: oppiminen voidaan määritellä prosessiksi, jossa yksilössä tapahtuu suhteellisen pysyviä, kokemuksista johtuvia psyykkisiä muutoksia, kun taas muistilla tarkoitetaan kykyä tal-

¹ Tapahtumasidonnaisella jännitevasteella tarkoitetaan EEG:ssä ilmeneviä, ärsykkeeseen ajallisesti kytkeytyviä jännitemuutoksia (Hämäläinen, Laine, Aaltonen & Revonsuo 2006, 453).

lentaa ja noutaa taltiosta menneisyyden kokemuksia (Klein & Thorne 2007, 502; Wickens 2000, 227).

Aivot ovat kognitiivisen toiminnan keskus. Ihmisaivojen uskotaan muodostuvan noin kahdestatoista miljardista hermosolusta² eli neuronista ja niiden välisistä yhteyksistä, joita on ilmeisesti ainakin 10 triljoonaa – triljoona on miljoonan kolmas potenssi: luku, jossa on 18 nollaa. Tutkijat ovat suhteellisen yksimielisiä siitä, että muistin toiminta perustuu hermosoluissa ja niiden välisissä yhteyksissä tapahtuviin muutoksiin, mutta muistin toiminnan tarkat mekanismit ovat osittain vielä hämärän peitossa. On kuitenkin saatu erittäin vahvaa näyttöä siitä, että muistin toiminta perustunee hermosolujen rakenteessa tapahtuviin muutoksiin (esim. uusien synapsien ja dendriittien muodostuminen), tiettyjen hermovälittäjäaineiden pitoisuuksien tai erityksen muutoksiin, hermovälittäjäaineiden reseptoreiden herkkyuden muutoksiin tai aivojen sähköisen toiminnan muuttumiseen. (Wickens 2000, 228).

4.3.1 Kolme teoreetikkoa

Muistin ja oppimisen teorioista puhuttaessa voidaan tämän työn puitteissa hyvin pelkistetyksi – kenenkään muun työtä väheksymättä – edetä nykypäivään esimerkiksi Pavlovin, Lashleyn ja Hebbin teorioiden kautta.

Pavlov on näistä kolmesta ehkä kaikkein kuuluisin. Ivan Pavlov (1849-1936) oli venäläinen fysiologi, joka tunnetaan erityisesti kokeistaan koirilla. Pavlov uskoi, että oppiminen perustuu ehdollistumiseen. Pavlovin kehittämällä klassisen ehdollistumisen käsitteellä tarkoitetaan tietyn ärsykkeen refleksinomaista liittymistä tiettyyn vasteeseen. Tunnetuin esimerkki tästä ovat Pavlovin kuolaavat koirat: ruoka-aikaan koirat alkoivat kuolata nähdessään ruokaa, mutta kun ruoan antamiseen riittävän usein yhdistettiin kellonsoitto, muuttui tilanne siten, että koirat alkoivat kuolata myös pelkän kellonsoiton kuulleessaan. Pavlovin mukaan oppiminen perustui siihen, että aistinalueiden ja motoristen eli responssialueiden välille kehittyi uusia kortikaalisia yhteyksiä, joiden aktivoi-

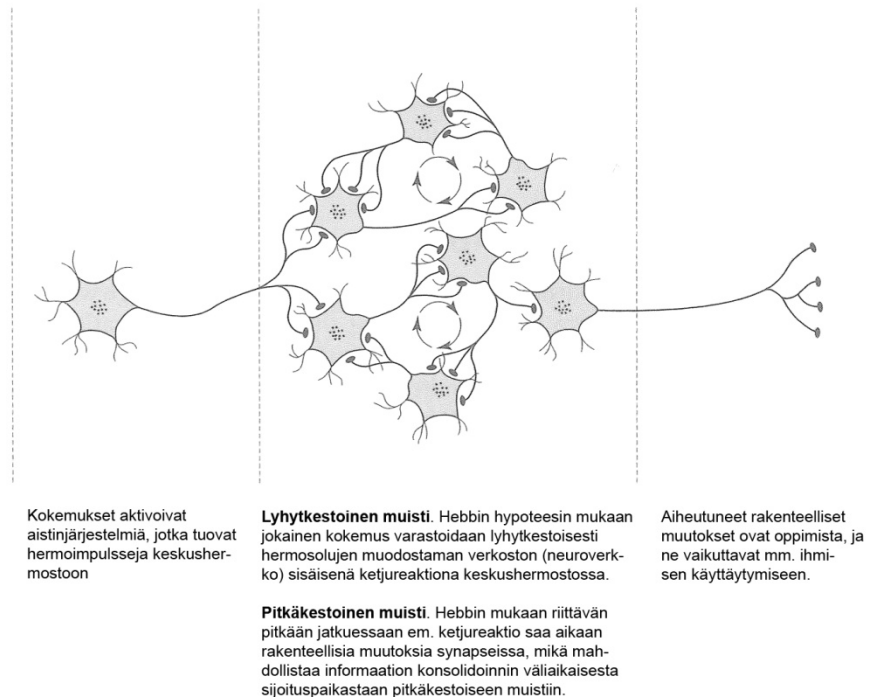
² Tiedot aivojen hermosolujen määrästä ovat vain arvioita. Huomattavasti kahtatoista miljardia suurempiakin lukuja on esitetty: esim. van Praag (2008) puhuu sadasta miljardista hermosolusta. Tämä lisää vastaavasi myös hermosolujen välisten yhteyksien määrää.

tuminen sai aikaan vasteen – joko ehdollisen tai ehdottoman (Klein & Thorne 2007, 505; Wickens 2000, 229).

Lashley. Karl Lashley (1890–1958) oli yhdysvaltalainen oppimisen ja muistin tutkija, joka käytti pääosan yli kolmekymmentävuotisesta tutkijanurastaan muistin biologisen sijaintipaikan, *engramin* (muistijälki) etsintään. Lashleyn työhön vaikuttivat huomattavasti Pavlovin ajatukset uusien yhteyksien muodostumisesta. Lashley päätteli, että jos oppiminen tapahtuu aivokuorella ja perustuu uusien yhteyksien muodostamiseen, oppiminen voidaan peruuttaa katkaisemalla nuo yhteydet. Testatakseen hypoteesiaan Lashley harjaannutti rottia kulkemaan erilaisissa labyrinteissa ja teki tämän jälkeen viiltoja niiden aivokuoriin. Lashleyn yllätykseksi viilloilla ei ollut vaikutuksia rottien kykyyn selviytyä labyrinteissa. Kun samojen rottien aivokuoria leasioitiin, suoriutuminen heikkeni. Leesion sijainnilla ei kuitenkaan ollut merkitystä, ainoastaan sen koolla (massatoimintateoria – ts., aivokuori toimii kokonaisuutena, ja mitä enemmän tätä kokonaisuutta on, sitä parempi). Tällä perusteella Lashley päätteli, ettei yksittäistä engramia ole olemassa, vaan muisti ja oppiminen sijaitsevat ”kaikkiialla” aivoissa (yhdenvertaisuusteoria – ts., kaikkien aivokuorten osien rooli monimutkaisessa käyttäytymisessä, esim. oppimisessa, on yhdenvertainen, ja mikä tahansa osa voi korvata toisen osan toiminnan). (Wickens 2000, 231; Klein & Thorne 2007, 10.) Nykyisin joissakin yksinkertaisissa tapauksissa muistijälki on onnistuttu jo paikantamaan: esimerkki tästä on kanin vilkkuluomiehdollistuminen, jonka aiheuttama muistijälki on paikallistettu pikkuaivojen lateraaliseen interpositustumakkeeseen (Wikgren 2002).

Hebb. Donald Hebb (1904–1985) oli kanadalainen neuropsykologi ja Lashleyn oppilas. Hebbin kiinnostuksen kohteena oli erityisesti se, kuinka tieto itse asiassa tallentuu muistiin. Hebb esitti, että kaikki kokemukset ja tapahtumat aktivoivat keskushermostossa joukon hermosoluja, neuroverkon. Tämä käynnistää sähköisen ketjureaktion, jonka tehtävänä on tarjota tapahtumaa koskevalle informaatiolle väliaikainen sijoituspaikka, jossa informaatiota voidaan säilyttää niin kauan, että sen jatkokäsittely voidaan suorittaa. Tätä ”välivarastoa” kutsutaan lyhytkestoiseksi muistiksi. Pitkäkestoinen muisti selitetään Hebbin teoriassa rakenteellisilla ja fysiologisilla muutoksilla (esimerkiksi uusien yhteyksien muodostuminen ja aineenvaihduntamuutokset). Todennäköisin paikka näille muutoksille oli Hebbin mukaan synapsi. Suhteellisen hitaiden fysiologisten muutosten tapahduttua informaatio konsolidoidaan Hebbin mukaan väliaikaisesta sijoituspaikasta

pitkäkestoiseen muistiin. Hebbillä ei ollut käytännön mahdollisuuksia testata teoriaansa, mutta viimeaikaisen tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että Hebb oli perusajatustensa osalta kutakuinkin oikeassa (Klein & Thorne 2007, 510; Wickens 2000, 232). Hebbin ajatuksia neuroverkoista sovelletaan nykyisin myös mm. tieteellisessä laskennassa, jossa neuraalilaskenta on jo pitkään ollut merkittävän kiinnostuksen kohteena. Tämä ”Hebbin malli” muistista ja oppimisesta on esitetty myös seuraavassa kuvassa 3.



KUVA 3. Hebbin malli muistista ja oppimisesta. (Käännetty, Wickens 2000, 233.)

4.3.2 Nykykäsitys muistin ja oppimisen neurofysiologiasta

Kuten edellä todettiin, nykykäsitys muistin oppimisen neurofysiologiasta perustuu hyvin pitkälle Hebbin esittämään malliin, jonka peruskäsitteet, lyhyt- ja pitkäkestoinen muisti, tulevat tutuiksi jo lukion psykologiassa. Nykyisin lyhytkestoisen muistin sijasta puhutaan kuitenkin useimmiten työmuistista. Tällä halutaan korostaa sitä, ettei kyseessä ole pelkkä ”välivarasto”, vaan työmuistissa säilytetään sitä tietoa, jota juuri parhaillaan käsitellään. Työmuistin katsotaan sijaitsevan pääasiassa etuotsalohkon alueella, ja sen toiminta perustuu Hebbin mallin mukaiseen solujen toistaiseen toimintaan. (Kalat 2007, 383-412; Klein & Thorne 2007, 501-543; Wickens 2000, 227-265.)

Työmuistin ja pitkäkestoisen muistin ohella muistamisen prosessiin kuuluvasta konsolidoinnista näyttäisi olevan päävastuussa aivoturso (*hippocampus*, aivojen sivukammion alasarveen työntyvä kaareva kohouma, johon luetaan ammoninsarven eli varsinaisen aivoturson ohella usein myös *gyrus dentatus*, pykäläpoimu). Lisäksi näyttäisi siltä, että aivotursossa ovat tallennettuina myös pitkäkestoisen muistin hakuavaimet: eräänlaiset pointterit, joiden avulla pitkäkestoiseen muistiin tallennettu tieto löydetään. (Kalat 2007, 383-412; Klein & Thorne 2007, 501-543; MOT Lääketiede 2008; Wickens 2000, 227-265.)

Konsolidoinnin kannalta on oleellista, että aivojen vireystaso (toimintavalmius, *arousal*) on riittävä. Kuten aiemmin jo todettiin, vireystasoon vaikuttavat monet tekijät, mutta joidenkin hormonien pitoisuudella on havaittu olevan aivan erityistä merkitystä. Riittävä adrenaliinin ja kortisolin pitoisuus edistää konsolidointia, mutta erityisesti kortisolin kyseessä ollen liiallinen pitoisuus voi myös heikentää sitä. Kortisolin ja adrenaliinin merkitys konsolidoinnin edistäjinä perustuu niiden toimimiseen stimulaattoreina mantelilumakkeelle, joka puolestaan vaikuttaa aivoturson toimintaan. Adrenaliinin ohella myös muilla monoamiineilla, ennen kaikkea dopamiinilla ja noradrenaliinilla, näyttäisi olevan merkittävä rooli muistin toiminnassa. (Kalat 2007, 383-412; Klein & Thorne 2007, 501-543; Wickens 2000, 227-265.)

Solutasolla muistissa on kyse oppimisen tuloksena tallentuneesta muutoksesta hermosolujen muodostaman verkoston toimintaominaisuuksissa. Muutokset hermoverkossa tapahtuvat – kuten Hebb aavisteli – lähinnä synapseissa, ja tärkeintä muistiin liittyvää synapsien toiminnallista muutosta kutsutaankin Hebbin synapsiksi. Hebbin synapsilla tarkoitetaan synapsia, jossa synapsin välityskyky tehostuu sen seurauksena, että presynaptinen ja postsynaptinen neuronit ovat aktiivisia samanaikaisesti. Synapseissa tapahtuu muistamisen yhteydessä paljon fysiologisia ja anatomisia muutoksia: kerralla vapautuvan hermovälittäjäaineen määrä muuttuu, synapsin koko muuttuu, postsynaptiset reseptorit herkistyvät, uusia synapsia yhteyksiä muodostuu ja vanhat yhteydet uudelleenjärjestyvät. Synapsien välityskyvyn tehostumista pysyvästi kutsutaan kestopotentiatioksi (*long-term potentiation*). Siinä tiettyjä afferentteja neuroneja ärsytetään nopeasti ja/tai samanaikaisesti, jolloin postsynaptisen neuronin herkkyys kasvaa. Tila syntyy muutamassa sekunnissa, ja se voi kestää minuuteista viikkoihin. (Kalat 2007, 383-412; Klein & Thorne 2007, 501-543; Wickens 2000, 227-265.)

4.4 Kognitiivisen suoriutumisen vaihtelu

Kognitiivisten reservien hypoteesin mukaan kognitiiviseen suoriutumiseen vaikuttavat perimän määräämän perustason ohella myös ympäristötekijät. Vaikutusmekanismin perustana on aivojen plastisuus, joka mahdollistaa kognitiivisen suoriutumisen paranemisen ja huononemisen tietyn vaihteluvälin sisällä. (Baltes, Lindenberger & Staudinger, 1998; Baltes, Reese & Lipsitt 1980). Aivojen plastisuudella tarkoitetaan aivojen hermoyhteyksien muokkautuvuutta: hermosolut sinällään eivät jakaudu³, mutta kuten edellä jo todettiin, niiden väliset yhteydet muuttuvat solujen aktiivisuudesta riippuvalla tavalla – aivot siis ikään kuin rakentavat itse itseään (Cotman & Berchtold 2002). Tekijöitä, jotka vaikuttavat hermoyhteyksien muokkautumiseen, ei tunneta vielä läheskään täydellisesti. Tästä johtuen merkittävä tutkimuspanostus kohdistuukin näiden tekijöiden selvittämiseen.

4.4.1 Kestävyyskunnan vaikutus

Fyysisen aktiivisuuden ja kestävyyskunnan vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen on tutkittu suhteellisen paljon. Merkittävimpänä tutkimusten motiivina näyttäisi olevan länsimaisten yhteiskuntien ”harmaantuminen”: suurin osa tehdyistä tutkimuksista keskittyy kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välisiin yhteyksiin nimenomaan ikääntymisen kontekstissa. Fyysisen kunnon ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä muissa väestöryhmissä on sen sijaan tutkittu yllättävänkin vähän: esimerkiksi selkeän kontrastiivisia tutkimuksia ei juuri ole.

Tässä kappaleessa esitellään kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välistä yhteyttä kuvaava ns. kestävyyskuntohypoteesi ja joukko tutkimuksia, joissa tätä hypoteesia on pyritty testaamaan. Tutkimuksille on ollut yhteistä se, että niissä lähes kaikissa kestävyyskuntoa on mitattu maksimaalisen hapenoton testillä. Käytetyt kognitiivisen suoriutumisen mittausten menetelmät ja sitä kautta myös mitatut kognitiivisen suoriutumi-

³ Aivan näihin päiviin saakka on uskottu, ettei neurogeneesiä (uusien hermosolujen syntyminen) tapahdu enää syntymän jälkeen. Tämä uskomus on nyttemmin osoittautunut lopullisesti vääräksi. Uusia hermosoluja syntyy, ja syntyyn vaikuttavat monet tekijät – mm. fyysisen aktiivisuuden määrä. (van Praag 2006.)

sen osa-alueet sen sijaan vaihtelevat eri tutkimusten välillä huomattavastikin. Ehkä osittain tästä syystä myös tutkimusten tulokset ovat keskenään jokseenkin ristiriitaisia.

Kolme näkökulmaa. Tehdyissä tutkimuksissa voidaan havaita kolme teoreettista peruslähtökohtaa: 1) fysiologinen näkökulma, jossa fyysisen aktiivisuuden ja kestävyyskunnan vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen pyritään selittämään ennen kaikkea fysiologian avulla, 2) psykologinen näkökulma, jossa lähtökohtana on useimmiten se, että fyysisen kunnan paraneminen tarjoaa ihmisille hallinnan ja kontrollin tunteita, jotka vastaavasti edistävät kognitiivista suoriutumista sekä 3) kognitiivinen näkökulma, jossa fyysisen kunnan harjoittaminen nähdään itsesäätelyn ja itsekontrollin muotona, josta seuraa adaptaatiomuutoksia myös ihmisen kognitiivisissa järjestelmissä.

Kestävyyskuntohypoteesi. Kestävyyskuntohypoteesilla tarkoitetaan hypoteesia, jonka mukaan kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä vallitsee positiivinen korrelaatio – ts., hypoteesin mukaan kestävyyskunnoltaan parempien yksilöiden tulisi myös menestyä paremmin kognitiivista kykyä vaativissa tehtävissä (Brisswalter, Colardeau & René 2002). Kestävyyskuntohypoteesia on testattu useissa eri tutkimuksissa, joissa sen paikkansapitävyydestä on saatu keskenään hyvinkin ristiriitaisia tuloksia.

Meta-analyysi on integratiivinen tutkimusmenetelmä, jossa pyritään yhdistämään tuloksia useista eri tutkimuksista, joissa testataan (tai uskotaan testattavan) identtisiä hypoteeseja. Meta-analyysin perusajatuksena on se, että kaikki tutkimukset kuvaavat omalla tavallaan populaatiotason efektiä, josta saadaan tarkin approksimaatio, kun tutkimukset yhdistetään toisiinsa (Metsämuuronen 2005, 432). Toiveena on usein se, että jos useissa pienemmissä on systemaattisesti tietynlainen suunta, mutta juuri missään tutkimuksessa ei esiinny tilastollisesti merkittävää yhteyttä tai eroa, niin yhdistämällä näitä tutkimuksia toisiinsa yhteys tai ero saattaakin olla tilastollisesti merkittävä.

Etnier, Nowell, Landers ja Sibley (2006) toteuttivat meta-analyysin, jossa he pyrkivät selvittämään, onko mitatun aerobisen kunnan ja mitatun kognitiivisen suoriutumisen välillä korrelaatiota. Meta-analyysiin valittiin 37 yksittäistä tutkimusta, joihin oli osallistunut yhteensä 1306 koehenkilöä. Meta-analyysin tulos oli, ettei kestävyyskuntohypoteesia pystytä osoittamaan paikkansa pitäväksi ainakaan valituilla tutkimuksilla.

Hansen, Johnsen, Sollers, Stenvik ja Thayer (2004) toteuttivat interventiotutkimuksen, jossa koehenkilöinä oli 37 norjalaista merikadettia. Koehenkilöt osallistuivat ensin kahdeksan viikon mittaiseen ohjattuun kestävyysharjoitteluun, minkä jälkeen heidät jaettiin kahteen ryhmään: toinen ryhmä jatkoi harjoittelua ja toinen lopetti sen toimien ”passiivisena” kontrolliryhmänä. Tutkimuksen tulos oli, että kun ryhmien välillä ei kahdeksan viikon kestävyysharjoittelun päätyttyä ollut eroja kestävyyskunnossa tai kognitiivisessa suoriutumisessa, niin neljä viikkoa kestäneen toisen vaiheen jälkeen harjoittelua jatkaneella ryhmällä sekä kestävyyskunto että kognitiivinen suoriutuminen oli parantunut.

Castelli, Hillman, Buck ja Erwin (2007) tutkivat fyysisen kunnan ja opintomenestyksen välistä korrelaatiota. Tutkimuksen koehenkilöinä oli 259 yhdysvaltalaisoppilasta, joiden fyysinen kunto testattiin epäsuoralla kenttätestillä ja opintomenestys arvioitiin käyttäen osavaltiotasolla järjestettyä tasokoetta. Tutkimuksen tulos oli, että fyysinen kunto ja arvioitu aerobinen kapasiteetti korreloivat positiivisesti opintomenestyksen kanssa. Kehon massaindeksin (BMI) ja opintomenestyksen välinen korrelaatio taas oli negatiivinen.

Newson ja Kemps (2008) toteuttivat kontrastiivisen tutkimuksen, jossa kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välistä yhteyttä tutkittiin yhteensä 96 koehenkilön ryhmässä. Koehenkilöt sijoituivat kahden eri jatkumon – ikä ja mitattu kestävyyskunto ääripäihin siten, että tutkimuksessa oli kaikkiaan neljä koehenkilöryhmää: hyväkuntoiset nuoret ja vanhat sekä huonokuntoiset nuoret ja vanhat. Tutkimuksessa havaittiin, että toisaalta a) nuoret menestyivät useimmissa kognitiivisen suoriutumisen mittauksissa vanhoja paremmin ja että b) kestävyyskunto ja kognitiivinen suoriutuminen korreloivat positiivisesti keskenään.

Angevarenin, Aufdemkampen, Verhaarin, Alemanin ja Vanheesin (2008) katsausartikkelissa on selvitetty fyysisen aktiivisuuden, fyysisen kunnan ja kognitiivisen suorituksen välisiä yhteyksiä perustuen yhteentoista maailmanlaajuisesti toteutettuun satunnaisesti ja kontrolloituun tutkimukseen (*randomised controlled trial*). Tekijät toteavat, että fyysisellä aktiivisuudella ja fyysisellä kunnolla näyttäisi olevan positiivisia vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen, mutta vaikutukset vaihtelevat kognitiivisen suoriutumisen eri osa-alueiden välillä.

Kuten edellä esitellyistä tutkimusesimerkeistä käy ilmi, kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välisistä yhteyksistä on saatu monenlaisia tuloksia. Tutkimusten yleisvire on kuitenkin selvästi se, että vanha totuus terveestä sielusta terveessä ruumiissa pitää paikkansa, ja että fyysisen kunnon – ja ennen kaikkea kestävyyskunnan – sekä kognitiivisen suoriutumisen välillä vallinneet positiivinen korrelaatio, jonka osoittaminen tieteellisesti on vain osoittautunut uskottua vaikeammaksi tutkimuksen kohteena olevien ilmiöiden monimutkaisuudesta johtuen. Positiivisen korrelaation olemassaoloa on kuitenkin pyritty perustelemaan myös fysiologisesti. Fyysisen aktiivisuuden ja kunnon sekä kognitiivisen suoriutumisen välisen positiivisen korrelaation fysiologiseksi selitysmalleiksi on esitetty mm. aivojen lisääntyntä verenkiertoa, hapen ja glukoosin hyödyntämisen tehostumista sekä rakenteellisiin muutoksiin (mm. kapillarisaatio) vaikuttavien kasvutekijöiden aktivoitumista (Churchill ym. 2002; Colcombe ym. 2003; Cotman & Berchtold 2002; Endres ym. 2003).

4.4.2 Rasituksen vaikutus

Tutkimusasetelmat, joissa on pyritty selvittämään rasituksen ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä, voidaan jakaa kolmeen perusr ryhmään. Kognitiivista suoriutumista on yleensä tutkittu joko rasituksen aikana, rasituksen jälkeen tai erillisenä yksittäisestä rasitustapahtumasta mutta liittyen yleisemmin fyysiseen aktiivisuuteen. Rasituksen aikaisen kognitiivisen suoriutumisen tutkimuksessa huomio on yleensä ns. kaksoistehävästä (*dual task*) suoriutumisesta: siis siinä, kuinka yksilö onnistuu yhdistämään motorisen ja kognitiivisen suoriutumisen. Tällainen tutkimusasetelma on kiinnostava mm. monissa urheilulajeissa (esimerkiksi suunnistuksen toimiessa hyvänä esimerkkinä hyvinkin monimutkaisen kognitiivisen tehtävän, rasituksen ja motorisen tehtävän yhdistelmästä) tai mm. monissa sotilaallisissa sovelluksissa.

Yleisesti akuutilla fyysisellä rasituksella katsotaan olevan samanaikaiseen kognitiiviseen suoriutumiseen vaikutus, jota voidaan kuvata ylösalaisin olevalla U-kirjaimella (Yerkes & Dodson 1908, Brisswalterin, Collardeaun & Renén, 2002, mukaan). Kohutuullinen akuutti fyysinen aktiivisuus parantaa kognitiivista suoriutumista, mutta rasituksen noustessa tietyn tason yli kognitiivinen suoriutuminen alkaa heikentyä. Tämä kognitiivisen suoriutumisen muutos näyttäisi liittyvän hermoston vireystason (*arousal*) muutoksiin: suoriutuminen on optimaalista keskimääräisellä vireystasolla. Fyysinen ra-

situs vaikuttaa tähän vireystasoon mm. autonomisen hermoston toiminnan kautta, ja EEG:ssä erityisesti aerobinen liikunta näkyy beeta-aktiivisuuden lisääntymisenä ja alfa-aktiivisuuden vähenemisenä⁴. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että kognitiivista suoriutumista kuvaavan ylösalaisin olevan U-kirjaimen muotoisen käyrän taitekohta osuu hyvin usein suunnilleen anaerobisen kynnyksen⁵ kohdalle. (Brisswalter, Collardeau & René 2002.)

Myös rasituksen kesto näyttäisi vaikuttavan kognitiiviseen suoriutumiseen. Eräänlaisena minimaikana edellytyksenä muutoksille kognitiivisessa suoriutumisessa (alussa siis sen paranemisessa) voidaan esim. Petruzzellon ym. (1991) mukaan pitää noin 20 minuuttia. Noin tunnin rasituksen jälkeen kognitiivinen suoriutuminen alkaa kuitenkin jälleen huonontua ilmeisesti väsymyksestä johtuen.

Hogervorst, Riedel, Jeukendrup ja Jolles (1996) tutkivat fyysisen rasituksen vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen käyttäen rasituksessa 75 % maksimitehosta suoritettua polkupyörätyötä ja suhteellisen monipuolista valikoimaa kognitiivisia testejä, jotka koehenkilöt suorittivat ennen rasitusta ja sen jälkeen. Kognitiivinen suoriutuminen oli kauttaaltaan parempaa fyysisen rasituksen jälkeen. Tutkijoiden mukaan paraneminen on todennäköisesti selitettävissä fyysisen rasituksen aiheuttamalla aktivaatiotason kohoamisella.

Winter ym. (2007) tutkivat rasittavan juoksuharjoituksen vaikutusta oppimiskykyyn 27 terveellä koehenkilöllä. Koehenkilöt suorittivat eritehoisia juoksuharjoituksia, ja heidän oppimiskykyään testattiin välittömästi harjoituksen jälkeen sekä yhden viikon ja kahdeksan kuukauden (kontrolli) kuluttua harjoituksesta. Lisäksi koehenkilöiden verestä analysoitiin aivoperäisen hermokasvutekijän⁶ (*BDNF, brain-derived neurotrophic fac-*

⁴ Alfa-aktiivisuus on EEG:ssä havaittavaa, amplitudiltaan suhteellisen voimakasta ja noin 8-13 Hz:n taajuisia aivojen sähköistä aktiivisuutta. Beeta-aktiivisuudella taas tarkoitetaan aktiivisuutta, jonka taajuus on yli 13 Hz. (MeSH 2008.)

⁵ Anaerobinen kynnyks (*lactate threshold*) on se suurin työteho ja energiankulutuksen taso, jossa veren laktaattipitoisuus ei vielä nouse jatkuvasti; maksimaalinen laktaatin eliminaatiotaso (Nummela 2004).

⁶ Aivoperäisen hermokasvutekijän uskotaan olevan erittäin merkittävässä roolissa aivojen ja hermoston plastisuuden säätelyssä (Sairanen 2007).

tor) ja kolmen katekoliamiinin (dopamiinin, adrenaliinin ja noradrenaliinin) pitoisuudet ennen juoksuharjoitusta, heti sen jälkeen ja juoksuharjoitusta seuranneen ensimmäisen oppimistestauksen jälkeen. Raskas fyysinen rasitus paransi tässä tutkimuksessa oppimistulosta keskimäärin 20 %. Myös hermokasvutekijän ja katekoliamiinien määrä veressä lisääntyi. Myöhemmin suoritettujen mittausten perusteella todettiin, että kohonneet hermokasvutekijän pitoisuudet korreloivat positiivisesti lyhyen aikavälin oppimismenestyksen kanssa, kun taas dopamiini- ja adrenaliinitasot korreloivat keskipitkän (dopamiini) ja pitkän aikavälin (adrenaliini) oppimistulosten ja niiden säilymisen kanssa. Tällä perusteella tutkijat toteavat näyttävän siltä, että hermoperäinen kasvutekijä, dopamiini ja adrenaliini ovat niitä tekijöitä, jotka selittävät sen, että fyysinen rasitus parantaa oppimistuloksia.

Kokonaisuutena ottaen voidaan todeta, että rasituksen vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen on onnistuttu tutkimaan melko menestyksekkäästi ja vieläpä niin, että tutkimustulokset ovat suhteellisen yhteneviä: näyttäisi siltä, että rasitus edistää kognitiivista suoriutumista varsinkin lyhyellä aikavälillä (Tomprowski & Ellis, 1986).

4.4.3 Kognitiivisen suoriutumisen erityiskysymyksiä

Monet normaalista poikkeavat erityistilanteet vaikuttavat kognitiiviseen suoriutumiseen merkittävästi. *Unideprivaatio* (univaje) huonontaa kognitiivista suoriutumista – vuorokauden valvominen vastaa noin promillen humalaa (Partinen & Huovinen 2007). Vaara ym. (2007) tutkivat kuudenkymmenen tunnin unideprivaation fysiologisia ja psykologisia vasteita 20 suomalaiskadetin toimiessa tutkimuksen koehenkilöinä. Koehenkilöiden vigilanssi laski rytmisesti valvomisen aikana ja virheiden määrä tarkkaavuutta vaativissa tehtävissä kasvoi. Lisäksi oppimisen pysyvyys (kyky palauttaa mieleen opittuja asioita) heikkeni, vaikkei kumulatiivinen oppiminen sinällään heikentynytäkään. Caldwell, Caldwell, Brown & Smith (2004) saavuttivat vastaavia tuloksia tutkimuksessaan, jossa kymmenen yhdysvaltalaisesta hävittäjälentäjää osallistui 37 tunnin kestoiseen valvotutkimukseen.

Liällinen stressi huonontaa sekin merkittävästi kognitiivista suoriutumista, ennen kaikkea tiedonkäsittely- ja päätöksentekokykyä. Harris, Hancock & Harris (2005) stressasivat 35 yhdysvaltain laivaston erikoisjoukkoihin kuuluvaa sotilasta viikon ajan fyysisellä

epämukavuudella, unideprivaatiolla ja huomattavalla koetulla vihollisuksella. Eniten heikkeni koehenkilöiden kyky loogiseen päättelyyn, mutta myös muussa kognitiivisessa suoriutumisessa tapahtui merkittävää heikkenemistä. Vastaava tutkimus on toteutettu myös Norjassa, jossa Larsen (2001) selvitti tutkimuksessaan, kuinka nuoret, vakavasti stressaantuneet ja unideprivaatiosta kärsivät kadetit toimivat tilanteessa, jossa kohteet, joita heidät oli määrätty ampumaan kovilla panoksilla osoittautuivatkin eläviksi ihmisiksi elottomien kohdenukkien sijaan. Tutkimuksessa suurin osa (59 %) kadeteista ampui voimassaolevan pysyväsivon vastaisesti, ja vain yksi 44 koehenkilöstä yritti varoittaa muita kohdealueella olevista ihmisistä.

Piristeet. Piristeillä on kognitiivista suoriutumista parantava vaikutus ennen kaikkea unideprivaatiotilanteissa mutta myös yleisesti. Ehkä yleisimmin käytetty piriste on kofeiini, joka riittävän suurina annoksina vaikuttaa myös kognitiiviseen suoriutumiseen (esim. Gevins, Smith & McEvoy 2002; Ruxton 2008) erityisesti niillä, jotka käyttävät sitä säännöllisesti (esim. Smit & Rogers 2000). Suurimman kiinnostuksen ja tutkimuksen kohteena tällä hetkellä tuntuu kuitenkin olevan modafiniili, joka on syntetttinen psykostimulantti. Sitä käytetään mm. narkolepsian, MS-taudin ja ADHD:n (tarkkaavaisuus- ja ylivilkkaushäiriö) hoidossa. Sen on myös havaittu mahdollistavan jopa kymmenien tuntien yhtäjaksoisen valvomisen ilman, että kognitiivinen suoriutuminen heikenee. Modafiniililla ei myöskään ole havaittu merkittäviä fysiologisia sivuvaikutuksia. (Baranski, Esquivié, Pigeau & Raphel 1998; Baranski, Gil, McLellan, Moroz, Buguet & Radomski 2002; Lagarde & Batejat 1995.) Modafiniilin vaikutus perustuu sen monoamiinien⁷ eritystä lisäävän vaikutukseen, mutta sen on myös havaittu lisäävän hypotalamuksen histamiinipitoisuuksia, mistä johtuen jotkut tutkijat uskovat modafiniilin ennemminkin ylläpitävän valvetilaa kuin toimivan normaalina, amfetamiinin kaltaisena piristeenä (Ishizuka, Murakami & Yamatodani 2008).

⁷ Monoamiinit ovat hermovälittäjäaineiden ryhmä, johon kuuluvat mm. dopamiini, noradrenaliini, adrenaliini, serotoniini, melatoniini ja histamiini (Despououlos & Silbernagl 2003, 330).

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tässä luvussa esitellään tutkimuksen taustalla olevat tutkimuskysymykset ja niihin liittyvät tutkimuksen hypoteesit.

5.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mitatun kestävyyskunnan, akuutin rasituksen, sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä. Kognitiivinen suoriutuminen on erittäin laaja ja monimutkainen ilmiö, ja tähän tutkimukseen valittiin tutkimuskohteiksi kaksi kognitiivisen suoriutumisen osa-aluetta, vigilanssi ja oppiminen. Tutkimustehtävä voidaan esittää seuraavina tutkimuskysymyksinä:

1. Onko mitatun kestävyyskunnan ja mitatun kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittavissa korrelaatiota? Ts., vaikuttaako kestävyyskunto *per se* kognitiiviseen suoriutumiseen.
2. Vaikuttaako akuutti rasitus kognitiiviseen suoriutumiseen?
3. Onko mitatun sykevälivaihtelun ja mitatun kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittavissa korrelaatiota?
4. Vaikuttaako jokin muu mitatuista tekijöistä kognitiiviseen suoriutumiseen?

5.2 Hypoteesit

Tämän tutkimuksen hypoteeseina on, että

- i) Kestävyyskunto vaikuttaa kognitiiviseen suoriutumiseen siten, että kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä vallitsee positiivinen korrelaatio.
- ii) Akuutti rasitus parantaa kognitiivista suoriutumista.
- iii) Lepotilassa mitatun sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välillä on havaittavissa vastaava positiivinen korrelaatio kuin kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä.

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA AINEISTON KERUU

Tässä luvussa esitellään yksityiskohtaisesti tutkimuksen toteuttaminen ja aineiston keruu. Käsiteltäviä asioita ovat koehenkilöjoukon koostumus, koeasetelma, tutkimusmittaukset ja aineiston analysoinnissa käytetyt tilastolliset menetelmät.

6.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin keväällä ja kesällä 2006, jolloin tutkimuksen koehenkilöiden kestävyyskuntoa ja kognitiivista suoriutumista mitattiin Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveyslaboratoriossa suoritetuilla testeillä. Tutkimuksen oli alun perin tarkoitus olla osa kokonaisuutta, jossa tutkittiin keväällä 2006 maantieteelliselle Pohjoisnavalle vaelta- neen Laskuvarjojääkärikillan retkikunnan jäseniä: sitä, miten normaalielämää huomattavasti rasittavampi vaelluksen aikainen ajanjakso ja mahdollinen aliravitsemus vaikuttavat paitsi ihmisen fyysiseen suorituskyykyyn niin myös kognitiiviseen suoriutumiseen. Retkikunnan jäseniä koskeva kognitiivinen mittaustiedot sisälsi kuitenkin niin paljon virheitä, ettei sitä voitu hyödyntää tutkimuksessa. Virheiden syinä oli toisaalta koehenkilöiden saapuminen perustasomittaukseen vain noin kahden tunnin unen jälkeen ja toisaalta valittujen tutkimusmenetelmien osittainen soveltumattomuus retken aikaisiin erikoisolosuhteisiin. Lisäksi myös retkikunnan jäsenten motivaation puute osallistua kognitiivisiin mittauksiin vaikutti mahdollisesti niiden tuloksiin.

Naparetkiretkikunnan kontrolliryhmäksi rekrytoitiin Jyväskylän seudulta kuitenkin kolmentoista miehen ryhmä, joille suoritettiin samat mittaukset, jotka suoritettiin retkikunnan jäsenille. Kontrolliryhmän mittaukset onnistuivat suhteellisen hyvin, vaikka koehenkilöiden määrässä esiintyikin kahden noin kahden kuukauden välein toteutetun mittauskerran välillä jonkin verran katoa. Kontrolliryhmältä kerätty mittaustiedot mahdollisti kuitenkin tutkimuksen perusajatuksen toteuttamisen, ja tästä johtuen päädyttiinkin siihen, että naparetkikunnan mittaustulokset jätettiin huomiotta ja alun perin kontrolliryhmäksi aiotusta ryhmästä tuli varsinainen koehenkilöryhmä.

6.2 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä oli 13 perustervettä, säännöllistä aerobista liikuntaa harrastavaa miestä, jotka oli rekrytoitu tutkimuksen koehenkilöiksi yhden ainejärjestön, yhden vapaaehtoisjärjestön ja yhden paikallisen hiihtoseuran jäsenien joukosta. Kuten edellä todettiin, alun perin tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia keväällä 2006 maantieteelliselle Pohjoisnavalle vaeltaneen retkikunnan jäsenten fyysisen kunnon, akuutin ja jatkuvan rasituksen sekä kognitiivisen suorituksen välisiä yhteyksiä. Tämän tutkimuksen 13 koehenkilöä valittiin ko. ryhmän kontrollihenkilöiksi siten, että heidän antropometriansa ja Jacksonin (1990) non exercise –yhtälöllä arvioitu maksimaalinen hapenottokyky nsä mahdollisimman tarkasti vastasi kaavailtua alkuperäistä koehenkilöryhmää.

Koehenkilöiden ikäjakauma (mittausten suorittamisen ajankohtana) oli 24-42 vuotta. Kaikki tutkimuksen koehenkilöt olivat suhteellisen hyväkuntoisia. Yleisesti käytetyn Shvartzin ja Reiboldin (1990) ikään ja mitattuun maksimaalisen hapenottoon perustuvan kuntoluokituksen mukaan koehenkilöjoukon kuntoluokan moodi oli 5. Keskimääräinen mitattu maksimaalinen hapenottokyky oli 48,2 ml/kg/min ja keskimääräinen kehon massaindeksi 24,6. Tarkemmat tiedot koehenkilöistä on esitetty seuraavassa taulukossa.

TAULUKKO 1. Tutkimuksen koehenkilöiden taustatiedot (keskiarvo \pm keskihajonta (SD)/keskiarvon keskivirhe (SE)).

Koehenkilöiden lukumäärä (= N)	13
Ikä (v)	31,3 \pm 5,9/1,6
Pituus (cm)	175,8 \pm 6,2/1,7
Massa (kg)	75,9 \pm 8,1/2,2
Kehon massaindeksi (kg/m²)	24,6 \pm 2,6/0,7
Rasva-% (%)	19,1 \pm 6,2/1,7
Maksimaalinen hapenottokyky (ml/kg/min)	48,2 \pm 3,7/1,0
Kuntoluokka (1-7; moodi)	5

Kaikki tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt osallistuivat tutkimukseen täysin vapaaehtoisesti, eikä heille maksettu tutkimukseen osallistumisesta korvausta. Ennen tutkimuksen alkamista kullekin koehenkilölle toimitettiin tämän työn liitteenä 1 oleva koehenkilötiedote, jonka perusteella henkilö teki päätöksen osallistumisesta tutkimukseen. Jokaiselta koehenkilöltä pyydettiin kirjallinen suostumus toimimisesta koehenkilönä, ja

jokaiselle koehenkilölle korostettiin myös sitä, että heillä on oikeus keskeyttää tutkimukseen osallistuminen milloin tahansa ilman, että keskeyttämisellä on heille mitään negatiivisia seurauksia. Jotkut koehenkilöt käyttivätkin tätä keskeyttämisoikeuttaan joko mittausten aikana tai kahden mittauskerran välissä. Kaikki tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt ovat myös antaneet luvan käyttää heistä kerättyä tietoa tässä tutkimuksessa ja sen raportoinnissa siten, ettei yksittäistä koehenkilöä voi tunnistaa.

6.3 Koeasetelma

Tutkimuksen koeasetelma oli suhteellisen yksinkertainen. Koska tavoitteena oli tutkia sekä mitatun kestävyyskunnan että akuutin fyysisen rasituksen vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen, oli luonnollista, että kognitiivista suoriutumista mitattiin sekä ennen maksimaalisen hapenoton mittausta että sen jälkeen. Koeasetelma oli siis seuraavanlainen:

1. Koehenkilö suoritti kognitiiviset testit ensimmäisen kerran. Ensimmäisen testauksen yhteydessä suoritettiin ensin harjoitustestit oppimis- ja vigilanssitestistä, minkä jälkeen suoritettiin oppimis- ja vigilanssitesti (tässä järjestyksessä).
2. Koehenkilö suoritti maksimaalisen hapenoton testin.
3. Koehenkilö suoritti kognitiiviset testit toisen kerran välittömästi maksimaalisen hapenoton testin jälkeen samassa järjestyksessä kuin ensimmäisellä testikerralla (siis ensin oppimistesti ja sitten vigilanssitesti), mutta ilman harjoitustestejä.

Ennen edellä kuvattua testisarjaa henkilöiltä oli otettu paastoverinäyte ja heille oli suoritettu ortostaattinen koe.

6.4 Tutkimusmittaukset

Kullekin koehenkilölle suoritettiin täsmälleen samat mittaukset ja samassa järjestyksessä. Kaikki koehenkilöt saapuivat mittauspaikalle aamulla vähintään kaksitoista tuntia kestäneen paaston jälkeen. Ennen mittauspäivää kullekin koehenkilölle oli toimitettu koehenkilöohje, joka on liitteenä 2. Tämän jälkeen heiltä otettiin verinäyte, josta määritettiin pieni verenkuvaa, veren lipidit sekä kortisolin, kasvuhormonin, testosteronin, tyroksiinin ja sukupuolihormoneja sitovan globuliinin pitoisuudet entsyymiantigeenien käyttöön perustuvalla kemiluminesenssianalyysillä (Immulate 1000 Analyzer, DPC

Diagnosics Corporation, Los Angeles, Yhdysvallat). Verinäytteen oton jälkeen kullekin koehenkilölle suoritettiin ortostaattinen koe, jonka aikana tallennetusta sykedatasta määritettiin tässä tutkimuksessa käytetyt sykevälivaihtelumuuttujat. Tämän jälkeen koehenkilöillä oli mahdollisuus nauttia kevyt aamiainen laboratoriotiloissa. Aamiainen ei sisältänyt mitään sellaisia elintarvikkeita, joilla tiedetään olevan piristävä vaikutus (esim. kahvi ja eräät hedelmät).

Aamiaisen jälkeen suoritettiin porrastetusti loput mittaukset kaikille koehenkilöille. Aluksi koehenkilöille suoritettiin kognitiivista suoriutumista mittaavat oppimis- ja vigi-lanssitestit, minkä jälkeen testattiin koehenkilön maksimaalinen hapenotto- ja maksimihapenoton testin jälkeen koehenkilöillä oli mahdollisuus juoda vettä, mutta heti tämän jälkeen kognitiivisen suoriutumisen testit uusittiin. Kokonaisuudessaan mittaukset kestivät kunkin koehenkilön osalta noin viidestä kuuteen tuntia. Mittauspäivän suunniteltu aikataulu on liitteenä 3. Aikataulu on suuntaa-antava, sillä aikataulussa pysyttiin eri mittauspäivinä vaihtelevasti.

Tavoitteena oli, että kullekin koehenkilölle olisi suoritettu samat mittaukset kahdella eri kerralla, noin kahden kuukauden välein. Kuten oli odotettavissa, ei tämä toteutunut suunnitellusti: ensimmäiselle mittauskerralle osallistui 13 koehenkilöä, mutta toiselle mittauskerralle vain kahdeksan koehenkilöä. Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat ensimmäisellä testikerralla toteutettiin mittauksiin, joihin osallistui kolmetoista henkilöä. Koehenkilöitä pyydettiin lisäksi pitämään mittausten välisenä aikana liikuntapäiväkirjaa, jonka avulla oli tarkoitus arvioida koehenkilöiden fyysisen aktiivisuuden taso. Pari koehenkilöä täyttikin liikuntapäiväkirjaa kiitettävän huolellisesti, mutta koska suurin osa koehenkilöistä ei palauttanut liikuntapäiväkirjaa tai palautti puutteellisesti täytetyn liikuntapäiväkirjan, jouduttiin fyysisen aktiivisuuden analysoinnista luopumaan.

6.4.1 Sykevälivaihtelu

Kunkin koehenkilön syke rekisteröitiin ortostaattisen kokeen aikana sykähälyttimellä sykemittaria (Polar S810i; Polar Electro Oy, Kempele, Suomi) käyttäen. Rekisteröity sykedata siirrettiin sykemittarista sen valmistajan toimittaman ohjelmiston avulla tiedostoksi, josta laskettiin sykevälimuuttujat kahdesta eri kohtaa ortostaattista koetta. Ensimmäinen analyysijakso oli aikaväli minuutti kokeen alkamisesta kohtaan neljä mi-

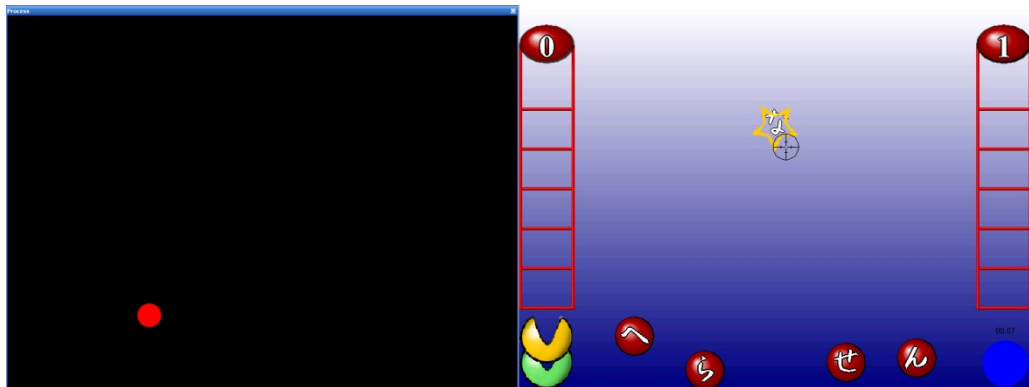
nuuttia kokeen alkamisesta ja toinen analyysijakso aikaväli kohdasta yhdeksän minuuttia kokeen alkamisesta kohtaan 12 minuuttia kokeen alkamisesta. Analyysijaksot valittiin siten, että molempien analyysijaksojen alkaessa koehenkilöt olivat maanneet rauhassa ja hiljaa paikallaan minuutin. Sykevälivaihtelumuuuttujien laskentaan käytettiin Kuopion yliopiston fysiikan laitoksen lääketieteellisen kuva- ja signaalianalyysin tutkimusryhmän kehittämän sykevälivaihteluanalyysiohjelmiston versiota 1.1. Analyysijaksoista valittiin tutkimuksessa käytettäväksi ensimmäinen jakso, koska siinä oli koehenkilöiden mittauksissa vähiten ektooppisia mittaustuloksia. Ko. ohjelman analyysituloksesta on esimerkki liitteenä 4. Alun perin tarkoituksena oli, että sykettä olisi rekisteröity myös kognitiivisten testien aikana, mutta ilmeisesti tilassa olleiden tietokoneiden määrästä johtuen sykerekisteröinneissä oli niin paljon virheitä, että ne olivat käyttökelttomia. Rekisteröinnistä luovuttiin tästä syystä ensimmäisen mittauspäivän jälkeen.

6.4.2 Vigilanssi ja oppiminen

Vigilanssia mitattiin yhdellä vigilanssitestauksen vanhimmista, tunnetuimmista ja käytetyimmistä menetelmistä, ns. Mackworthin kellotestillä, josta käytettiin tietokoneelle mukautettua versiota. Testissä koehenkilö ohjeistetaan seuraamaan tietokoneen näytöllä kiertävää punaista pistettä. Pallo liikkuu kuudestatoista pimeästä kehästä koostuvalla ympyränmuotoisella radalla (”kellotaulu”) eteenpäin sekunnin välein siten, että aina satunnaisin väliajoin se kulkee normaaliin verrattuna kaksinkertaisen matkan (”hyppää”). Tämä hyppy on ärsyke, joka koehenkilön tulee huomata, ja johon hänen tulee reagoida painaen tietokoneen välilyöntinäppäintä. Koehenkilön suoritus hyväksyttiin, jos välilyöntinäppäimen painaminen tapahtui korkeintaan kahdeksan sekunnin kuluttua hypystä. Jos hypyn ja vasteen väli oli alle 100 ms, suoritusta ei hyväksytty. Hypyn todennäköisyys oli 0,67 %. Vigilanssitestissä koehenkilön suorituksesta rekisteröitiin oikein havaitut hypyt ja reaktioaika (millisekuntia) hypystä siihen, kun koehenkilö painoi välilyöntinäppäintä. Vigilanssitestin näyttö on esitetty seuraavalla sivulla olevassa kuvassa.

Oppimisen testaamiseen käytettiin Jyväskylän yliopiston Agora Mind Tech –laboratoriossa kehitetystä Ekapelistä jalostettua Hiragana-testipeliä. Ekapelin ja Hiragana-testipelin perusidea on samanlainen: pelin pelaajan pitää oppia yhdistämään kirjainmerkki ja sitä vastaava äänne toisiinsa. Lukemaan opettelevat lapset yhdistävät toisiinsa normaaleja latinalaisen aakkoston kirjaimia ja niitä vastaavia (suomen kielen) äänteitä,

mutta latinalaisen aakkoston jo sujuvasti osaavat aikuiset yhdistävät toisiinsa japanin kielen hiragana-merkkejä ja vastaavia äänneitä. Hiragana-merkit ovat tavumerkkejä, eli kutakin merkkiä vastaa tavu, jonka kuvaamiseen latinalaisessa aakkostossa tarvittaisiin useampia kirjaimia. Testissä koehenkilö kuuli tavun, ja hänen piti hiirellä osoittaa ruudulla näkyvistä hiragana-merkeistä se, joka vastasi kuultua tavua. Koehenkilöillä ei ollut mitään etukäteistä tietoa hiragana-merkeistä, vaan oppiminen perustui ohjelman antamaan välittömään palautteeseen siitä, oliko koehenkilö osoittanut oikeaa hiragana-merkkiä: oikea valinta ilmoitettiin merkin ympärille ilmestyvällä tähdellä ja väärä valinta sen ympärille ilmestyvällä vihreällä ympyrällä. Myös merkin tunnistamiseen käytössä oleva aika oli rajattu: jos koehenkilö ei valinnut merkkiä määrätyn ajan kuluessa, ohjelma antoi palautteena tiedon siitä, mikä oli oikea merkki, joka olisi tullut valita. Samoin, jos koehenkilö valitsi väärän merkin, hänelle annettiin palautteen yhteydessä tieto siitä, mikä olisi ollut oikea merkki. Käytännössä koehenkilöt siis aloittivat testin summittaisella kokeilemisella ja oppivat merkit ohjelmalta saamansa palautteen avulla. Kyse oli siis Pavlovin klassisesta ehdollistumisesta eli assosiatiivisesta oppimisesta, ja oppimistilanteena kyseessä oli hyvin perinteinen, behavioristiseen oppimiskäsitykseen perustuva oppimistilanne. Oppimistestin näyttö on esitetty seuraavassa kuvassa.



KUVA 4. Vigilanssitesti ja assosiatiivisen oppimisen testi.

Opeteltavana oli kerrallaan aina kahdeksan hiragana-merkkiä, jotka vaihtuivat jokaisella testikerralla: yksi koehenkilö tuli siis opetelleeksi yhteensä 32 hiragana-merkkiä. Oppimisen kriteerinä testissä käytettiin sitä, että koehenkilö pystyi virheettömästi yhdistämään viisi kertaa peräkkäin kuulemansa tavun ja sitä vastaavan hiragana-merkin. Kun koehenkilö oli onnistunut tässä kaikkien kahdeksan merkin osalta, testi päättyi, ja tulokseksi tuli koehenkilön tarvitsemien kokeilukertojen ("trial") määrä. Mitä vähemmän ko-

keilukertoja siis oli, sitä nopeammin koehenkilö oli saavuttanut testissä määritellyn oppimisen tavoitetason.

Sekä vigilanssi- että oppimistestissä koehenkilöillä oli ennen ensimmäistä testikertaa mahdollisuus harjoitella tulossa olevaa testiä lyhyemmällä testijaksolla. Vigilanssitestissä harjoituskerta kesti kaksi minuuttia, ja sen aikana hyppyjä esiintyi 10 kpl. Hyväksytyt harjoituksen rajana oli 80 % havaintotaso. Jos koehenkilö ei olisi saavuttanut tätä tasoa, harjoituskerta olisi uusittu. Näin ei tarvinnut tehdä kenenkään koehenkilön tapauksessa. Harjoituskertojen tarkoituksena oli varmistaa, että koehenkilöt olivat ymmärtäneet testin ja sen, mitä heidän tuli tehdä. Lisäksi haluttiin varmistua siitä, ettei arkuus tai kokemattomuus testiohjelmistojen käytössä vaikuta testin tulokseen ainakaan merkittävästi.

Kaikki kognitiiviset testit suoritettiin kannettavilla tietokoneilla ja niihin kytketyillä kuulokkeilla liikunta- ja terveyslaboratorion liikuntapsykologian tutkimustilassa. Kognitiiviset testit toteutettiin ulkopuolisen avun turvin: testien tekijät olivat psykologian alan koulutuksen saaneita henkilöitä, joilla oli vankka kokemus vastaavien tutkimusten tekemisestä.

6.4.3 Maksimaalisen hapenoton testi

Ennen maksimaalisen hapenoton testiä mitattiin kunkin koehenkilön pituus ja massa. Lisäksi mitattiin ns. rasvasaksien avulla neljän ihopoimun (triceps, biceps, scapula ja suprailiacal) paksuus (kolmen mittauksen keskiarvo), joiden avulla määritettiin koehenkilöiden likimääräinen rasvaprosentti käyttäen Durnin & Rahaman – ennusteyhtälöä (1967).

Maksimaalinen hapenotto määritettiin Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveyslaboratorion juoksumatolla (OJK-1; Telineyhtymä, Kotka, Suomi). Kuormitusmallina käytettiin sauvakävelymallia, jossa maton nopeutta ja kulmaa muutetaan sivulla olevan taulukon mukaisesti. Kuten seuraavan sivun taulukosta 2 havaitaan, on kyseessä lähinnä ns. mäkimalli, vaikka myös juoksumaton nopeutta muutetaan testin aikana. Yhden kuormaportaan kesto oli viisi minuuttia.

Testin aluksi mitattiin koehenkilöiden laktaatin lepoarvo sormenpäästä otetusta kapillaariverinäytteestä pikamittaria (Lactate Pro, Arkray Inc., Kioto, Japani) käyttäen. Tämän jälkeen koehenkilöille selvitettiin testin kulku ja heille asetettiin paikalleen turvavaljaat, minkä jälkeen koehenkilöillä oli mahdollisuus verrytellä ja kokeilla lyhyen aikaa sauva-kävelyä juoksumatolla. Verryttelyn jälkeen koehenkilöille asetettiin paikalleen erityinen hengitysmaski (tai joidenkin koehenkilöiden tapauksessa erityinen suukappale, ”snorkeli”), jonka kautta koehenkilöt hengittivät siten, että kaikki sisään- ja uloshengitys tapahtui suukappaleen kautta.

TAULUKKO 2. Maksimaalisen hapenottokyvyn testin kuormitusmalli.

Teor. VO ₂	Nopeus	Kulma
20 ml/kg/min	5,0 km/h	3,5°
25 ml/kg/min	5,0 km/h	5,5°
30 ml/kg/min	5,5 km/h	6,3°
35 ml/kg/min	5,5 km/h	8,1°
40 ml/kg/min	6,0 km/h	8,6°
45 ml/kg/min	6,0 km/h	10,2°
50 ml/kg/min	6,0 km/h	11,7°
55 ml/kg/min	6,0 km/h	13,3°
60 ml/kg/min	6,0 km/h	14,8°
65 ml/kg/min	6,5 km/h	14,8°
70 ml/kg/min	6,5 km/h	16,2°

Koehenkilöiden hengityskaasut kerättiin henkäys henkäykseltä ja analysoitiin hengityskaasuanalysoitsattorilla (Vmax 229, Sensor Medics, Anaheim/Yorba Linda, Yhdysvallat). Ennen jokaista mittaustapahtumaa hengityskaasuanalysoitsattori kalibroitiin hengityskaasujen tilavuuden (mittaustilan lämpötila) ja happi- ja hiilidioksidipitoisuuden suhteen (referenssikaasut). Testin aikana koehenkilöiden sykettä mitattiin sykemittarilla (Polar S810i; Polar Electro Oy, Kempele, Suomi), ja kunkin kuorman lopussa koehenkilöiltä määritettiin laktaattiarvo sormenpäästä otetusta kapillaariverinäytteestä em. pikamittaria käyttäen. Koehenkilöt jatkoivat testiä uupumukseen saakka, ja maksimaaliseksi hapenotoksi määritettiin suurin testin aikana mitattu, puolelle minuutille keskiarvoistettu hapenoton arvo. Testin päätyttyä mitattiin vielä laktaattiarvo ja koehenkilöt saivat jäähdytellä haluamansa ajan turvallisen palautumisen varmistamiseksi.

6.5 Muut mittaukset

Koehenkilöille suoritettiin myös sellaisia mittauksia, joiden tuloksia ei ole suoraan hyödynnetty tässä työssä. Kaikille koehenkilöille suoritettuna ortostaattisen kokeen yhteydessä heidän verenpaineensa mitattiin useaan kertaan. Verenpaineen mittaustulokset olivat oleellisia siinä mielessä, että niiden avulla voitiin yhdessä koehenkilöiden täyttämän esitieto- ja suostumuslomakkeen (liite 5) kanssa pyrkiä varmistumaan siitä, että maksimaalisen hapenoton testin suorittaminen oli turvallista.

6.6 Tilastollisten menetelmien valinnasta

Yleisimmät tieteellisessä tutkimuksessa käytettävät tilastomenetelmät ovat ns. parametrisia menetelmiä. Parametristen menetelmien kyseessä ollen niiden nimen mukaisesti oletetaan, että havaintoaineisto noudattaa jotain tiettyä jakaumaa tietyillä parametreilla. Esimerkiksi oletus normaalijakautuneisuudesta tarkoittaa, että aineisto voidaan täydellisesti kuvata kahden parametrin - keskiarvon ja keskihajonnan – avulla. Lisäksi useiden varianssi- ja monimuuttujamenetelmien käyttö edellyttää, että 1) aineiston havainnot ovat toisistaan riippumattomia, 2) aineiston havainnot ovat satunnaisesti valikoituneita, 3) aineiston havainnot ovat normaalisti jakautuneesta populaatiosta ja 4) että ryhmien varianssit ovat yhtä suuret. Usein myös aineiston koolle asetetaan vaatimuksia: havaintoja tulee olla *riittävän* paljon, jotta parametrisia menetelmiä voidaan käyttää. (Metsämuuronen 2005, 866.)

Tämän työn aineiston otoskoko on 13, jota voidaan yksiselitteisesti pitää pienenä otoksena kvantitatiiviseen työhön. Myös työn otoksen jakauma on ongelmallinen. Tilastollisen aineiston jakaumaa voidaan testata useilla eri testeillä. Yksi yleisimmistä tähän tarkoitukseen käytetyistä testeistä on Kolmogorovin-Smirnovin testi, joka perustuu kumulatiivisen frekvenssijakauman käyttöön. Kun tämän tutkimuksen otosta testattiin Kolmogorovin-Smirnovin testillä, havaittiin, ettei sitä voida pitää normaalisti jakautuneena minkään mitatun muuttujan osalta. Tästä ja otoksen koosta johtuen parametristen menetelmien käytössä on vaaransa. Siksi tässä työssä onkin aineiston analyysissä käytetty lähinnä parametrittomia menetelmiä.

Parametrittomilla menetelmillä, joita kutsutaan usein myös jakaumasta vapaiksi menetelmiksi, tarkoitetaan menetelmiä, joiden testisuureiden taustajakaumat eivät ole riippuvaisia siitä jakaumasta, josta havainnot ovat peräisin. Menetelmät perustuvat yleensä ennemminkin yksittäisten havaintojen järjestykseen kuin varsinaiseen absoluuttiseen arvoon.

Jos otoskoko on pieni (kuten tässä tapauksessa), parametrittomat menetelmät ovat käytännössä ainoa vaihtoehto, jos populaatiojakaumaa ei tunneta täsmällisesti. Menetelmiin liittyy myös huomattavasti vähemmän taustaoletuksia kuin parametrittomiin menetelmiin, minkä lisäksi ne soveltuvat useammanlaisille asteikoille ja mittaustilanteille. Parametrittomilla menetelmillä tehtyjen testien tulkinnat ovat myös suurempia ja riskittävämpiä kuin parametrisilla menetelmillä tehtyjen vastaavien testien tulkinnat. (Metsämuuronen 2005, 870.)

Tässä työssä analyysimenetelminä on käytetty normaalien tilastollisten perussuureiden (mm. keskiarvo, -virhe ja -hajonta) laskentaa, korrelaatioanalyysijä (lähinnä parametritonta Spearmanin korrelaatiokerrointa) ja aineistossa olevien eroavaisuuksien merkitsevyyden testaamiseen Wilcoxonin merkkitestä (*Wilcoxon Signed Ranks Test*).

Analyyseissä käytetyt tietokoneohjelmat olivat SPSS 15.0 for Windows, SPSS 16.0 for Mac ja Microsoft Excel 2008 for Mac. Korrelaatiomatriisista tuli suhteellisen suuri ($n = 1600/2$ -alkiainen), joten vain kiinnostavimmat tai tärkeimmät tilastollisesti merkitsevät tulokset on raportoitu. Tutkimuksessa tilastollisen merkitsevyyden rajaksi on valittu $p \leq 0,05$, mutta koska koehenkilöiden määrä oli erittäin pieni, on nollahypoteesin⁸ väärin perustein hyväksymisen välttämiseksi (ns. II-tyypin virhe) myös jotkin kiinnostavimmat suuntaa-antavat tulokset ($p \leq 0,1$) raportoitu tarkan p-arvon avulla. Aineiston pienuudesta johtuen testauksessa on käytetty tarkkoja testejä testien asymptoottisten varianttien sijasta aina, kun tämä oli mahdollista. Tilastollisen merkitsevyyden (korrelaation tai eron) kuvaamisessa on kuvioissa käytetty symbolia ”*”, jonka lukumäärä kuvaa tilastollista

⁸ Tässä työssä nollahypoteesi on yleisen käytännön mukaisesti sellainen konservatiivinen tai mitätöivä käsitys, josta ollaan valmiita luopumaan. Nollahypoteesi ja sen vastahypoteesi (H1) eivät ole samanarvoisia: vastahypoteesi pitää varovaisuuden logiikan mukaisesti osoittaa todeksi (tai todennäköiseksi) tiukemmin kriteerein kuin nollahypoteesi. (Metsämuuronen 2005.)

merkitsevyyttä siten, että ”*” = $p \leq 0,05$ (lähes merkitsevä), ”**” = $p \leq 0,01$ (merkitsevä) ja ”***” = $p \leq 0,001$ (erittäin merkitsevä). Merkitsevyytensä nämä p-arvot vastaavat tasoja 95%, 99% ja 99,9%.

6.7 Tutkimuksen etiikka

Tieteellisen tutkimuksen tulee olla eettisesti hyväksyttävää ja tutkimukset tulee suorittaa hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti. Opetusministeriön alainen tutkimuseettinen neuvottelukunta on antanut vuonna 2002 hyvästä tieteellisestä käytännöstä ohjeet⁹, joita tutkimuksessa tulisi noudattaa. Seuraavassa on esitelty tätä tutkimusta ja sen toteuttamista nimenomaan tutkimuseettisestä näkökulmasta pohjautuen em. ohjeeseen.

Tutkimus on suunniteltu, toteutettu ja raportoitu yksityiskohtaisesti ja tieteelliselle tiedolle ominaisella tavalla. Tutkimus on tehty tiedeyhteisön yleisesti hyväksytyjen toimintatapojen mukaisesti, ja sen teossa on noudatettu rehellisyyttä, yleistä huolellisuutta ja tarkkuutta niin tutkimustyössä, tulosten tallentamisessa ja esittämisessä kuin tutkimuksen ja sen tulosten arvioinnissakin.

Tutkimus on varustettu mahdollisimman täydellisillä lähdeviitteillä siten, että tutkimuksen lähdemateriaalina käytetyille muiden tutkijoiden tekemälle työlle ja saavutuksille on annettu niiden ansaitsema arvo. Tutkimuksen tekijällä ei ole sellaisia sidonnaisuuksia, jotka olisivat voineet vaikuttaa tutkimuksen toteuttamiseen. Tutkimukseen on saatu välillisesti taloudellista tukea Laskuvarjojääkärikillalta.

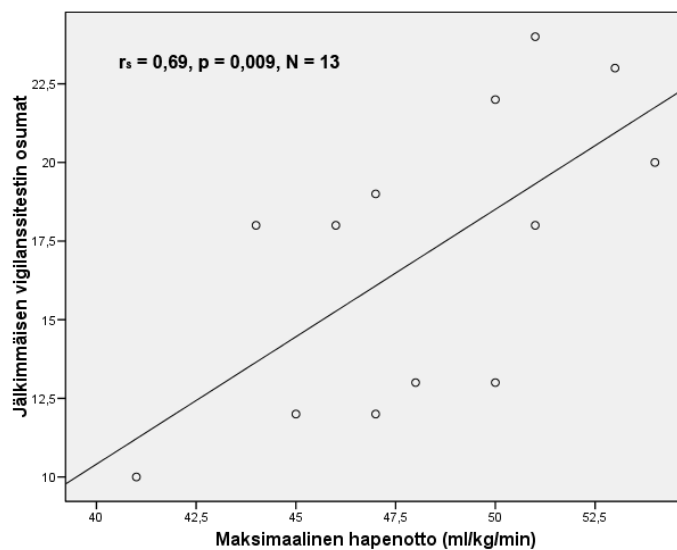
⁹ ”Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausten käsitteleminen”, Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2002.

7 TULOKSET

7.1 Kestävyyskunto

Kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välistä yhteyttä tutkittiin tässä työssä siten, että kestävyyskunnan mitatun arvon (maksimaalinen hapenotto) ja mitattujen vigilanssi- ja oppimissuoritusten välinen korrelaatio laskettiin.

Kestävyyskunnan ja oppimisen välillä ei havaittu korrelaatiota, eli H^0 jää voimaan ($p_1=0,726$; $p_2=0,286$; oppimistesti ennen ja jälkeen rasituksen). Kestävyyskunnan ja vigilanssisuorituskyvyn välillä sen sijaan havaittiin korrelaatio: rasituksen jälkeinen osumien määrä korreloi merkitsevästi mitatun maksimaalisen hapenoton kanssa ($r_s=0,69$, $p=0,009$). Vastaava merkitsevä korrelaatio havaitaan Shvartzin ja Reiboldin (1990) luokittelun mukaisen kuntoluokan ja rasituksen jälkeisen osumien määrän ($r_s=0,706$, $p=0,007$) välillä sekä kuntoluokan ja rasituksen jälkeisessä vigilanssitestissä mitatun keskimääräisen reaktioajan ($r_s=-0,735$, $p=0,004$) välillä. Ennen rasitusta suoritettujen vigilanssimittausten ja kestävyyskunnan välillä ei havaittu merkitsevää korrelaatiota, mutta oikeiden osumien määrä ennen rasitusta korreloi suuntaa-antavasti kestävyyskunnan kanssa ($r_s=0,515$, $p=0,071$). Seuraava kuva 5 havainnollistaa merkitsevää korrelaatiota.



KUVA 5. Kestävyyskunnan ja rasituksen jälkeisen vigilanssisuorituskyvyn välinen korrelaatio. Osumien maksimimäärä on 24.

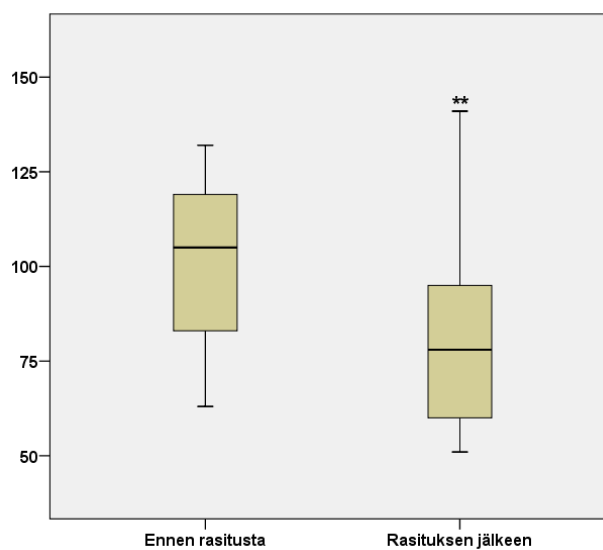
7.2 Akuutti rasitus

Akuutin rasituksen vaikutusta tutkittiin vertaamalla oppimis- ja vigilanssitestien tuloksia ennen ja jälkeen akuutin rasituksen (maksimaalinen hapenoton testi). Kaikissa vertailuissa tilastollisen testauksen hypoteesit olivat seuraavat:

- H^0 : Akuutti rasitus ei ole vaikuttanut suoriutumiseen, ts. suoriutuminen on samantasoista ennen rasitusta ja sen jälkeen.
- H^1 : Akuutti rasitus on vaikuttanut suoriutumiseen, ts. suoriutumisessa on merkitseviä eroja rasituksen jälkeen verrattuna tilanteeseen ennen rasitusta.

Testinä vertailuissa käytettiin Wilcoxonin tarkkaa merkkitestää.

Oppiminen. Oppimisen testauksessa testin arvoksi tuli $p=0,008$, joka on pienempi kuin tutkimuksen merkitsevyyden raja, joten nollahypoteesi hylättiin ja hypoteesi 1 jäi voimaan. Käytännössä tilanne oli se, että rasituksen jälkeen oppiminen oli keskimäärin 17% nopeampaa kuin ennen rasitusta: keskimääräinen kokeilukertojen määrä ennen rasitusta oli 100 ($\sigma=23,4$) ja rasituksen jälkeen 83 ($\sigma=26,9$). Seuraava kuva 6 havainnollistaa tätä tilannetta.

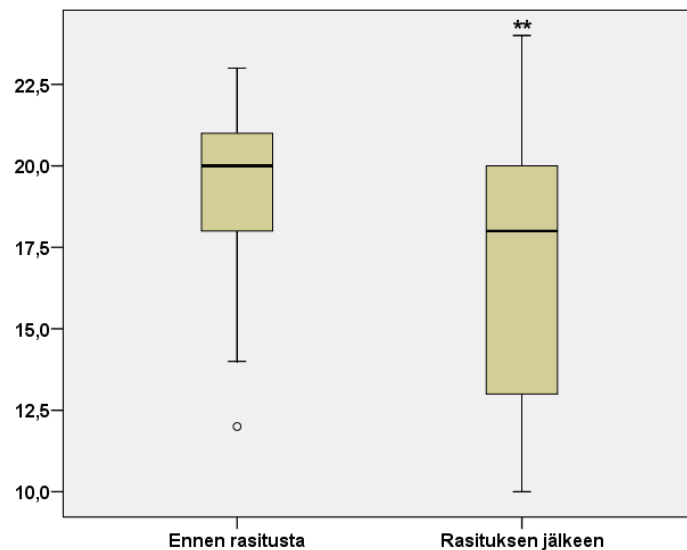


KUVA 6. Akuutin rasituksen vaikutus oppimismuutokseen (kokeilukertojen määrä). Pienempi tulos parempi. $p = 0,008$.

Graafisesta tarkastelusta (ja lasketuista keskihajonnoista) huomataan myös se, että oppimisen kriteerin saavuttamiseen vaadittavien kokeilukertojen vaihteluväli (koehenkilöittäin) suureni rasiituksen seurauksena.

Vigilanssi. Vigilanssia ennen rasiitusta ja rasiituksen jälkeen testattiin kahden eri vigilanssimuuttujan avulla: muuttujina käytettiin osumien määrää ja koehenkilöiden keskimääräistä reaktioaikaa.

Osumien suhteen testauksessa testin arvoksi tuli $p=0,004$, joka on pienempi kuin tutkimuksen merkitsevyyden raja, joten nollahypoteesi hylättiin ja hypoteesi 1 jäi voimaan. Seuraava kuva 7 havainnollistaa, että rasiituksen jälkeen koehenkilöiden osumien määrä ($k_a=17$, $\sigma=5$) oli merkitsevästi alempi kuin ennen rasiitusta ($k_a=19$, $\sigma=3$).

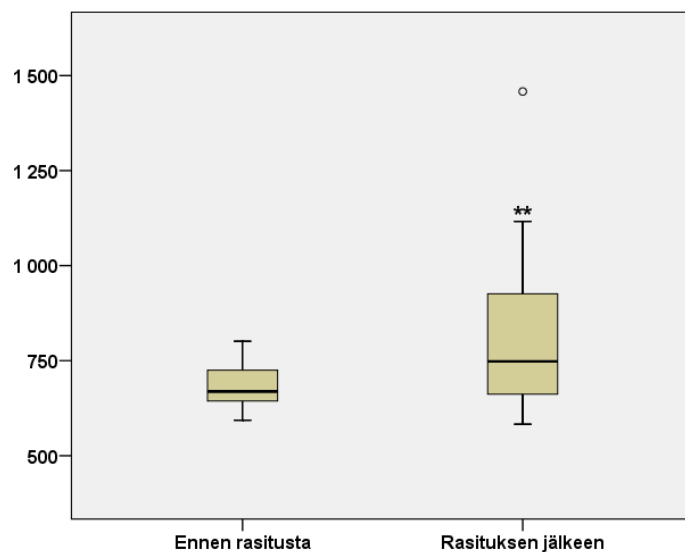


KUVA 7. Akuutin rasiituksen vaikutus vigilanssiin. Mittarina on koehenkilöiden osumien määrä. Osumien maksimimäärä on 24. Kuvaan on pallolla merkitty yksi poikkeava arvo ("outlier"¹⁰). $p = 0,004$.

¹⁰ Kuviossa "laatikko" sisältää 50 % havainnoista. Alareuna on alakvartiili (Q1) ja yläreuna yläkvartiili (Q3). Viiva laatikon keskellä kuvaa mediaania. "Viikset" kuvaavat vaihteluväliä. Poikkeavat arvot ("outlier") ovat arvoja, jotka poikkeavat enemmän kuin 1,5 kertaa laatikon korkeuden (keskimmäisten kvartiilien summan) verran ylä- tai alakvartiilista.

Graafisesta tarkastelusta (ja osittain myös lasketuista keskihajonnoista) huomataan myös se, että vigilanssisuoriutumisen toisena mittarina käytetyn osumien määrän vaihteluväli (koehenkilöittäin) suureni rasituksen seurauksena.

Reaktioaikojen osalta testin arvoksi tuli $p=0,003$, joka on pienempi kuin tutkimuksen merkitsevyyden raja, joten nollassa hypoteesi hylättiin ja hypoteesi 1 jäi voimaan. Käytännössä tilanne oli se, että rasituksen jälkeen koehenkilöiden keskimääräinen reaktioaika ($ka=831$ ms, $\sigma=250$ ms) oli merkitsevästi pidempi kuin ennen rasitusta ($ka=686$ ms, $\sigma=60$ ms). Seuraava kuva 8 havainnollistaa tilannetta.



KUVA 8. Akuutin rasituksen vaikutus vigilanssiin. Mittarina on koehenkilöiden keskimääräinen reaktioaika. Kuvaan on pallolla merkitty yksi poikkeava arvo ("outlier"). $p = 0,003$.

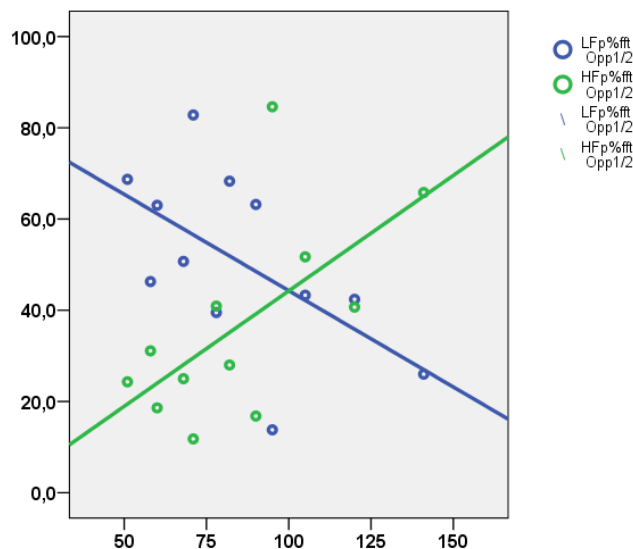
Graafisesta tarkastelusta (ja lasketuista keskihajonnoista) huomataan erityisen selvästi myös se, että vigilanssisuoriutumisen toisena mittarina käytetyn keskimääräisen reaktioajan vaihteluväli (koehenkilöittäin) suureni rasituksen seurauksena.

Kokonaisuutena ottaen voidaan siis todeta, että akuutti rasitus vaikutti merkitsevästi koehenkilöiden vigilanssisuorituskykyyn: osumien määrä väheni ja keskimääräinen reaktioaika piteni. Vigilanssisuorituskyky siis heikkeni akuutin rasituksen seurauksena. Huomionarvoinen seikka on myös se, että rasituksen jälkeinen vigilanssisuorituskyvyn vaihtelu koehenkilöiden välillä oli huomattavan suurta molempien mitattujen muuttujien

osalta. Vigilanssimuuttujien keskinäisessä tarkastelussa havaittiin, että vigilanssisuorituskyky huononi kokonaisvaltaisesti: osumien ja keskimääräisen reaktioajan muutosten välillä vallitsee (lähes) merkitsevä ($r=-0,710$, $p=0,006$; $r_s=-0,592$, $p=0,033$) korrelaatio: kun reaktioaika piteni, myös osumien määrä väheni.

7.3 Sykevälivaihtelu

Levossa mitatun sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välillä korrelaatiota oli käytännössä yhteen kognitiivisen suoriutumisen muuttujaan, oppimisnopeuteen akuutin rasituksen jälkeen. Sykevälivaihtelumuuttujasta riippuen sykevälivaihtelun ja akuutin rasituksen jälkeisen oppimisnopeuden välillä vallitsee merkitsevä (RMSSD: $r_s=0,720$, $p=0,008$; pNN50%: $r_s=0,720$, $p=0,008$), lähes merkitsevä (LF-teho (%): $r_s=-0,594$, $p=0,042$; HF-teho (%): $r_s=-0,594$, $p=0,042$; HF-teho (ms^2): $r_s=0,615$, $p=0,033$) tai suuntaa-antava (LF- ja HF-tehojen suhde: $r_s=-0,573$, $p=0,051$) korrelaatio. Käytännössä siis on havaittavissa jako, jossa matalataajuinen sykevälivaihtelu korreloi negatiivisesti rasituksen jälkeisten oppimiskertojen määrän kanssa ja korkeataajuinen sykevälivaihtelu positiivisesti rasituksen jälkeisten oppimiskertojen määrän kanssa. Seuraava kuva 9 havainnollistaa tilannetta.



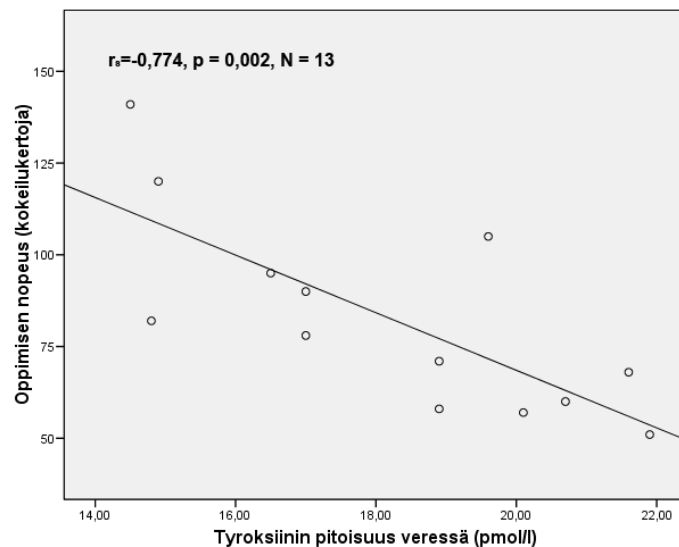
KUVA 9.

Rasituksen jälkeisen oppimisen nopeuden ja levossa mitatun sykevälivaihtelun tehojen (% , LF ja HF) välinen korrelaatio. Oppiminen X-akselilla, pieni tulos parempi. (LFp%fft: $r_s=-0,594$, $p=0,042$; HFp%fft: $r_s=-0,594$, $p=0,042$, $N=13$).

Sykevälvaihtelun HF-tehon ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä havaittiin lisäksi lähes merkitsevä ($r=0,617$, $p=0,033$) korrelaatio.

7.4 Muita tuloksia

Verinäytteiden analyysit. Koehenkilöiden paastoverinäytteistä tehtyjen analyysien ja kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittiin muutama riippuvuus. Paastoverinäytteestä analysoitu tyroksiinin pitoisuus korreloi merkitsevästi ($r_s=-0,774$, $p=0,002$) rasituksen jälkeisen oppimistestin kokeilukertojen määrän kanssa: mitä suurempi tyroksiinipitoisuus oli, sitä nopeammin koehenkilö oppi. Lähes merkitsevä korrelaatio havaittiin sukupuolihormoneja sitovan globuliinin ($r_s=0,681$, $p=0,01$) ja testosteronin ($r=0,554$, $p=0,049$) ja rasituksen jälkeisen oppimisen kokeilukertojen määrän välillä. Tyroksiinin ja rasituksen jälkeisen oppimistestin kokeilukertojen määrän välistä korrelaatiota havainnollistaa seuraava kuva 10.



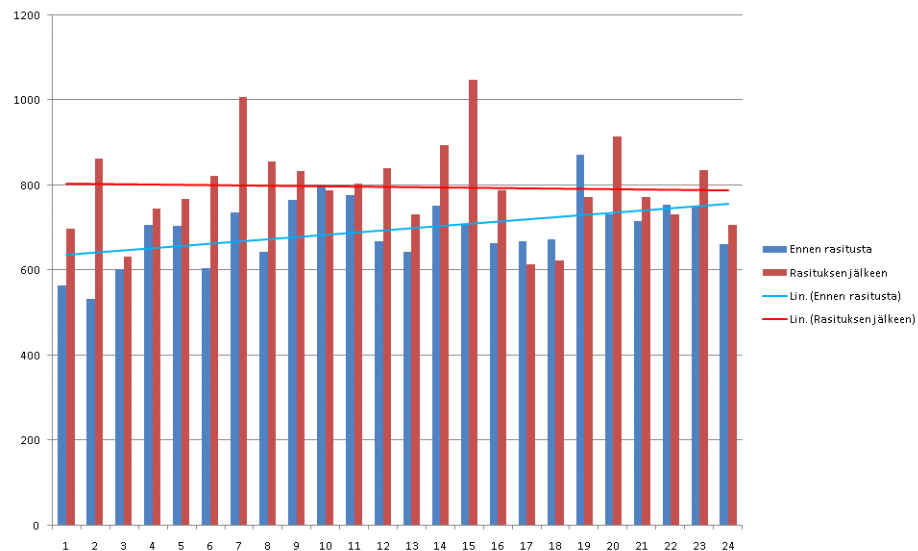
KUVA 10. Paastoveren tyroksiinipitoisuuden ja rasituksen jälkeisen oppimisnopeuden korrelaatio. Oppimisessa pieni tulos on parempi.

Yhteenveto koehenkilöiden veren analyysituloksista on liitteenä 6.

Vigilanssin muutos. Lähinnä itse vigilanssitestin onnistumisen arvioimiseksi tutkittiin myös vigilanssisuorituskyvyn muutosta sekä ennen rasitusta että sen jälkeen tehdyssä testissä. Molemmat testit jaettiin kahteen puoliskoon, ja sekä reaktioaikojen että osumi-

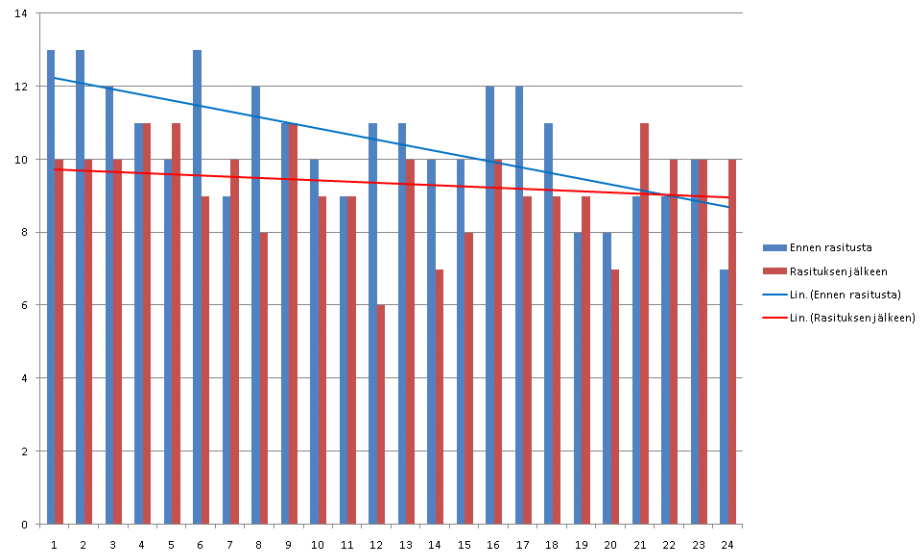
en määrän eroavuutta testattiin Wilcoxonin tarkalla merkkitestillä. Tulos oli, että molemmissa testeissä sekä reaktioaika että osumien määrä poikkesivat lähes merkitsevästi tai merkitsevästi testin puoliskojen välillä. Reaktioajalle testisuureen arvot olivat $p=0,02$ ja $p=0,025$; osumien määrälle testisuureen arvot olivat vastaavasti $p=0,008$ ja $p=0,011$. Kaikki arvot olivat pienempiä kuin tutkimuksen merkitsevyyden raja, joten nollassa hypoteesit hylättiin ja ykköshypoteesit jäivät voimaan.

Lisäksi havaittiin, että rasituksen jälkeinen vigilanssisuorituskyvyn heikkeneminen testin aikana oli vähäisempää kuin ennen rasitusta, vaikka vigilanssisuorituskyky rasituksen jälkeen kokonaisuutena ottaen heikkeni. Seuraavat kuvat 11 ja 12 (seuraavalla sivulla) havainnollistavat asiaa.



KUVA 11. Vigilanssissa (koehenkilöiden reaktioaikojen keskiarvo ärsykeittain, ms) tapahtunut muutos ennen rasitusta ja sen jälkeen. X-akselilla ärsykkeet (1-24).

Muuta. Osumien määrällä mitatun vigilanssisuorituskyvyn sekä kehon massaindeksin ja rasvaprosentin välillä havaittiin lähes merkitsevä negatiivinen korrelaatio sekä ennen (rasva-%: $r_s=-0,631$, $p=0,021$; BMI: $-0,595$, $p=0,032$) rasitusta että sen jälkeen (rasva-%: $r_s=-0,576$, $p=0,039$; BMI: $-0,651$, $p=0,016$). Lisäksi veren triglyseridipitoisuus korreloi lähes merkitsevästi ($r_s=0,556$, $p=0,048$) ennen rasitusta mitatun osumien lukumäärän kanssa.



KUVA 12. Vigilanssissa (koehenkilöiden osumien määrän keskiarvo ärsykkeittäin) tapahtunut muutos ennen rasiutusta ja sen jälkeen. X-akselilla ärsykkeet (1-24).

8 POHDINTA

Tässä kappaleessa esitetään tutkimuksen tulosten yhteenveto, tarkastellaan tuloksia teemoittain sekä esitetään joitakin mahdollisia selitysmalleja havaituille tuloksille. Lisäksi arvioidaan tutkimuksen onnistumista ja esitetään mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kestävyyskunnan, akuutin rasituksen, sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä. Kognitiivista suoriutumista mitattiin a) vigilanssia mittaavalla Mackworthin kellotestillä ja b) assosiatiiivista oppimista mittaavalla Hiragana-tavukirjainpelillä. Kestävyyskunto testattiin suoralla maksimaalisen hapenoton testillä, joka toimi samalla tutkimusasetelman akuuttina rasituksena.

Tutkimuksen tulos oli, että rasitus vaikutti merkitsevästi koehenkilöiden kognitiiviseen suoriutumiseen. Koehenkilöiden oppimisnopeus parani ($p=0,008$) ja vigilanssisuorituskyky (osumat $p=0,004$ ja reaktioajat $p=0,003$) huononi tilastollisesti merkitsevästi. Kestävyyskunnan ja oppimisnopeuden välillä ei havaittu korrelaatiota, mutta kestävyyskunto korreloi tilastollisesti merkitsevästi rasituksen jälkeisessä vigilanssitestissä menestymisen kanssa (osumien määrä – $VO_2\max$ $r_s=0,69$, $p=0,007$, kuntoluokka – reaktioajat: $r_s=-0,735$, $p=0,004$).

Sykevälivaihtelun ja rasituksen jälkeisen oppimisnopeuden välillä oli tilastollisesti lähes merkitsevä korrelaatio sykevälivaihtelun LF- ja HF-tehojen osalta (LF-teho (%): $r_s=-0,594$, $p=0,042$; HF-teho (%): $r_s=-0,594$, $p=0,042$; HF-teho (ms^2): $r_s=0,615$, $p=0,033$) ja merkitsevä korrelaatio eräiden muiden muuttujien osalta (RMSSD: $r_s=0,720$, $p=0,008$; pNN50%: $r_s=0,720$, $p=0,008$). Lisäksi paastoverinäytteestä analysoitu tyrokseenipitoisuus korreloi merkitsevästi rasituksen jälkeisessä oppimistestissä menestymisen kanssa ($r_s=-0,774$, $p=0,002$).

8.1 Akuutti rasitus

Ehkä kaikkein mielenkiintoisimmat tutkimuksen tulokset liittyivät akuutin rasituksen vaikutukseen. Akuutti rasitus vaikutti merkitsevästi molempiin mitattuihin kognitiivisen suoriutumisen osa-alueisiin, oppimiseen ja vigilanssiin.

Oppiminen. Akuutti rasitus paransi merkitsevästi oppimistulosta: koehenkilöt oppivat nopeammin. Tulos on yhtäpitävä Winter ym. (2007) tuloksen kanssa: heidän tutkimuksessaan rasittava juoksuharjoitus paransi oppimistulosta keskimäärin 20 %, ja tässä tutkimuksessa paraneminen oli keskimäärin 17 %. Winter ym. (2007) mittasivat koehenkilöiltään myös veren katekoliamiinien ja aivoperäisen hermokasvutekijöiden pitoisuuksia. Pitoisuudet kohosivat rasituksen seurauksena, mikä on yleisesti tunnettu rasituksen vaste. Winter ym. (2007) selittävätkin oppimistulosten paranemista nimenomaan em. tekijöiden pitoisuuksien lisääntymisellä. Selitys tuntuu uskottavalta, sillä aivoperäisen hermokasvutekijän (BDNF) roolista erityisesti aivotursopohjaisessa oppimisessa on paljon näyttöä (Gómez-Pinilla 2007; Vaynman, Yin & Gómez-Pinilla 2006). Lisäksi, kuten aiemmin tässä työssä on tullut esille, katekoliamiinien merkitys kognitiivisissa prosesseissa ja erityisesti oppimisessa on sekin yleisesti tunnettu ja itse asiassa implisiittisesti jo osa Hebbin esittämää oppimisen perusmallia.

Katekoliamiinien ja aivoperäisen hermokasvutekijän pitoisuuksien lisääntymisen rasituksen seurauksena on erittäin todennäköisesti selitys myös tässä tutkimuksessa todetun oppimisen paranemisen takana. Tämän tutkimuksen koehenkilöiltä ei mitattu veren katekoliamiinien (eikä aivoperäisen hermokasvutekijän) pitoisuuksia, mutta veren tyroksiinipitoisuuden merkitsevä korrelaatio rasituksen jälkeisen oppimistuloksen kanssa tukee erityisesti teoriaa katekoliamiineista oppimistuloksen paranemista selittävinä tekijöinä: tyrokksiini nimittäin herkistää katekoliamiineille (Engström, Svensson & Waldeck 1974). Lisäksi, kuten aiemmin muistia ja oppimista käsitelleessä luvussa todettiin, katekoliamiineilla – erityisesti adrenaliinilla – tiedetään olevan merkittävä rooli oppimiseen liittyvässä konsolidointiprosessissa.

Vigilanssi. Akuutti rasitus heikensi merkitsevästi koehenkilöiden vigilanssisuorituskykyä. Yhtenä selityksenä tälle kehitykselle voidaan esittää se, että voimakkaan rasituksen aiheuttama väsymys vaikutti vigilanssisuoritukseen samalla tavalla, muttei luonnollisesti yhtä voimakkaasti, kuin unideprivaation aiheuttama väsymys. Väsymystä selitysmallina tukee myös se, että vigilanssi huononi enemmän huono- kuin hyväkuntoisilla koehenkilöillä. Toisaalta vigilanssisuorituskyvyn huononemista voitaneen selittää myös rasituksen jälkeisen palautumisvaiheen alkamisella ja siihen liittyvällä parasymptatikonuksella. Parasymptatikonuksen puolesta selittävänä tekijänä puhuu myös Pattynin, Neytin, Henderickxin ja Soetensin (2008) tutkimus, jossa vigilanssisuorituskyvyn lasku

liittyi parasympatikotonuksen voimistumiseen. Tähän liittyy myös testien suoritusjärjestys: oppimistesti suoritettiin aina ennen vigilanssitestiä, jolloin rasituksen jälkeen palautuminen oli todennäköisesti alkanut jo oppimistestin aikana.

Se, että rasituksen jälkeisessä vigilanssitestissä ei ollut havaittavissa yhtä voimakasta testin aikaista vigilanssisuoriutumisen heikkenemistä kuin ennen rasiutusta suoritettussa testissä, vaikka vigilanssi kokonaisuutena heikkeni rasituksen seurauksena, oli mielenkiintoinen havainto. Yksi selitysmalli tälle voisi olla eri vigilanssiteorioiden mukaisten vigilanssiin vaikuttavien tekijöiden keskeisvaikutus ja ennen kaikkea akuutin rasituksen vaikutus johonkin vigilanssiin vaikuttavaan tekijään, todennäköisesti vireystasoon. Kuten aiemmin todettiin, vireystason ja kognitiivisen suoriutumisen välillä on ehdotettu vallitsevan käänteisen U –mallin, jonka mukaan kognitiivinen suoriutuminen on optimaalisinta keskimääräisellä vireystasolla. Rasituksen aiheuttama väsymys olisi siis kokonaisvigilanssisuorituskyvyn laskun selitys, mutta muutoksiin itse testin aikana vaikuttaisivat vigilanssiteorioiden mukaiset tekijät, jotka pääsääntöisesti johtaisivat vigilanssisuorituskyvyn laskuun myös testin aikana. Poikkeuksena tästä olisi kuitenkin rasiutustestin seurauksena ”ylikierroksilla” käyvän aineenvaihdunnan hidastuminen ja samanaikainen vireystilan lasku, joka osittain kompensoisi muiden vigilanssiin vaikuttavien tekijöiden vaikutusta siten, että testin edetessä vireystila putoaisi optimaaliselle alueelle, käänteisen U:n huipun tuntumaan. Tämän selitysmallin näyttäminen toteen on kuitenkin erittäin vaikeaa, ellei mahdotonta varsinkin, kun vigilanssi ilmiönä on vielä osittain tuntematon.

8.2 Kestävyyskunto

Kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittiin merkitsevä korrelaatio ainoastaan suhteessa rasituksen jälkeiseen vigilanssitestiin: mitä huonompikuntoisesta koehenkilöstä oli kyse, sitä merkittävämpää oli vigilanssisuorituskyvyn heikkeneminen. Yksi selitysmalli tälle voisi olla rasiutuksesta palautumisen nopeus huono- ja hyväkuntoisilla: huonokuntoisilla elimistön toimintojen hidastuminen lepotasolle on hitaampaa kuin hyväkuntoisilla. Tällöin myös vireystila on käänteisen U –mallin mukaisesti heillä liiallinen pidempään kuin hyväkuntoisilla, mikä selittäisi vigilanssisuorituskyvyn huononemisen kokonaisuutena. Toisaalta kyse voi olla myös siitä, että maksimaalisen hapenoton testi on huonokuntoisemman henkilön elimistölle – hänen aiempi fyysisen

aktiivisuuden historiansa huomioon ottaen – suurempi ”järkytys” niin fyysisesti kuin psyykkisestikin. Tämän seurauksena myös sen aiheuttama väsymys ja elimistön homeostaasin järkkäytyminen voi olla merkittävämpää. Jokseenkin selvää kuitenkin on, että muutokset liittyvät rasitukseen (ja kestävyyskuntoon): tämä tulee ilmi vigilanssisuorituskyvyn huomattavasti lisääntyneestä vaihtelusta rasituksen jälkeen.

8.3 Sykevälivaihtelu ja muut tulokset

Sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen osalta havaittiin (lähes) merkitsevä korrelaatio joidenkin sykevälivaihtelun komponenttien ja rasituksen jälkeisen oppimisenopeuden välillä. Erityisen silmiinpistävä oli LF- ja HF-tehojen täysin vastakkaiset korrelaatiot suhteessa rasituksen jälkeiseen oppimisenopeuteen. Tähän liittyen ei löydetty kirjallisuudesta mitään sellaista, jolla ilmiötä olisi voitu selittää.

Negatiivinen korrelaatio rasvaprosentin tai kehon massaindeksin ja vigilanssisuorituskyvyn välillä on sekin mielenkiintoinen. Castelli, Hillman, Buck ja Erwin (2007) havaitsivat samansuuntaisen korrelaation omassa tutkimuksessaan, mutta he eivät kuitenkaan esitä tulokselleen mitään selitysmalleja. Muissa tutkimuksissa (esim. Jagust, Harvey, Mungas & Haan 2005) on kuitenkin esitetty mahdollisia syitä havaituille korrelaatioille kehon massaindeksin ja ennen kaikkea kehon rasvaprosentin sekä kognitiivisen suoriutumisen välille. Ensinnäkin, rasvan osuus kehossa ja ennen kaikkea sen jakautuminen näyttäisi vaikuttavan hieman aivoturson kokoon. Lisäksi erityisesti liiallisella kehon rasvaprosentilla voi olla vaikutuksia myös elimistön sytokiinitasoihin erityisesti interleukiini 6:n ja tuumorinekroositekijä α :n osalta, koska adipoosikudos tuottaa niitä. Sytokiinit ovat peptidirakenteisia välittäjäaineita, jotka tunnetaan parhaiten niiden tulehdusreaktiota säätelevistä vaikutuksista, mutta niillä on merkitystä myös hermoston normaalissa toiminnassa kuten esimerkiksi oppimisessa ja muissa kognitiivisissa toiminnoissa (Lehtimäki 2008). Erityisesti keskivartaloon kertyneen rasvan on myös esitetty aiheuttavan kroonista stressiä ja lisäävän allostaattista kuormaa. Allostaattisella kuormalla tarkoitetaan fysiologisten stressireaktioiden kasautuvaa, pitkäaikaista seurausta (Kinnunen 2005).

8.4 Tutkimuksen luotettavuus

Hypoteesien toteutuminen. Tutkimuksen alkuperäisinä hypoteeseina oli, että i) kestävyyskunto vaikuttaa kognitiiviseen suoriutumiseen siten, että kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä vallitsee positiivinen korrelaatio, ii) akuutti rasitus parantaa kognitiivista suoriutumista ja iii) lepotilassa mitatun sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välillä on havaittavissa vastaava positiivinen korrelaatio kuin kestävyyskunnan ja kognitiivisen suoriutumisen välillä.

Tutkimus osoitti ensimmäisen hypoteesin osittain paikkansa pitäväksi: kestävyyskunnan ja rasituksen jälkeisessä vigilanssitestissä menestymisen välillä vallitsi positiivinen korrelaatio. Toinen hypoteesi osoittautui tutkimuksessa osittain paikkansa pitäväksi, osittain vääräksi: oppimistulos parani ja vigilanssisuorituskyky huononi. Tämä on tuloksena toisaalta jollain tasolla yhtenevä Angevarenin ym. (2008) katsausartikkelissa esitetyn tuloksen kanssa: kognitiivinen suoriutuminen on niin monitahoinen ja -mutkainen ilmiö, ettei sitä voida käsitellä hypoteesissa esitetyllä tavalla yhtenä kokonaisuutena. Kolmannen hypoteesin mukaisesti sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välillä havaittiin niidenkin välillä korrelaatio, mutta siinä tapauksessa korrelaatio oli rasituksen jälkeisen oppimisen ja sykevälivaihtelun joidenkin komponenttien välinen.

Tutkimuksen toteutus ja tutkimusasetelma. Toteutettu tutkimus oli osittain korrelatiivinen, ts. siinä pyrittiin löytämään korrelaatio mitatun aerobisen kunnon (maksimaalinen hapenotto-kyky) ja kognitiivisen suoriutumisen välille. Korrelaatiotutkimuksen onnistumisen kannalta merkittävää on selittävien muuttujien kontrastiivisuus; siis se, että selittävien muuttujien arvoissa on koehenkilöiden välillä todellisia ja mitattavia eroja. Tässä suhteessa tätä tutkimusta ei voida pitää täysin onnistuneena. Kaikki koehenkilöt olivat suhteellisen hyväkuntoisia ja harrastivat aktiivisesti liikuntaa. Tutkimuksen kysymyksenasettelun kannalta olisi kuitenkin ollut perustellumpaa testata ”liikkumisspektrin” ääripäissä olevia henkilöitä: siis sellaisia, jotka eivät harrasta liikuntaa käytännössä ollenkaan ja sellaisia, joille liikunta on luonnollinen osa jokapäiväistä elämää ja jotka liikkuvat erittäin paljon. Vastaavasti mitatussa kestävyyskunnossa (maksimaalisessa hapenotto-kyvyssä) olisi todennäköisesti esiintynyt merkittäviä eroja - toisin kuin nyt. Ongelmana tällaisessa koeasetelmassa on kuitenkin se, että passiivisten henkilöiden rekrytoi-

minen testattaviksi on jokseenkin mahdotonta: jos liikunta sinällään ei kiinnosta, kiinnostaa rasittavan kuntotestin sisältävä tutkimus todennäköisesti vielä vähemmän.

Tutkimusasetelman suhteen olisi saattanut olla perusteltua mitata sykettä ja sykeväli-vaihtelua myös kognitiivisten testien aikana ja käyttää analyyseissä myös rasituksen aikana mitattua sykedataa. Myös mittauksen toteuttaminen kahteen kertaan siten, että kognitiiviset testit olisi suoritettu mittauksissa eri järjestyksessä (siis ensin vigilanssitesti ja sen jälkeen oppimistesti) olisi voinut olla hyödyllistä: nyt se, että rasituksen jälkeen suoritettiin ensin oppimistesti ja vasta sen jälkeen vigilanssitesti todennäköisesti vaikutti vigilanssitestin tulokseen kuten edellä todettiin.

Koehenkilöiden määrä tilastolliseen tutkimukseen oli suhteellisen vähäinen. Tästä, ja edellä kuvatusta kontrastiivisuuden puutteesta huolimatta aineistosta kuitenkin löydettiin merkitseviä tuloksia, mitä voidaan pitää kuitenkin osoituksena tehdyn tutkimuksen jonkinasteisesta onnistumisesta. Osansa merkitsevyyksien löytymisessä oli myös valituilla tilastollisilla menetelmillä (parametrittomat menetelmät ja tarkat testit).

Löydettyihin kausaliitteihin tulee kuitenkin suhtautua varauksella. Tässä tutkimuksessa tutkittavat teemat ovat hyvin monimutkaisia, eikä selittävien tai riippuvien muuttujien autonomisuus ole ollenkaan selvää: esimerkiksi mitatun maksimaalisen hapenottokyvyn, kehon massaindeksin ja rasvaprosentin sekä vigilanssisuorituskyvyn tapauksessa on vaikea sanoa, mikä varsinaisesti on selittävä muuttuja: kehon massa vaikuttaa kilogrammaa kohti lasketun maksimaalisen hapenottokyvyn arvoon ja rasvaprosentti taas vaikuttaa tyypillisesti kehon massaan. Kokonaisuutenakin voidaan todeta, että sekä kestävyyskunnan että kognitiivisen suoriutumisen osalta on tutkittu järjestelmiä, joissa eri muuttujien välillä vallitsee erittäin monimutkaisia keskeisriippuvuuksia.

Jatkotutkimuksesta. Jatkossa olisi mielenkiintoista pyrkiä toteuttamaan samankaltainen tutkimus toisaalta kontrastiivisemmalla ja toisaalta suuremmalla koehenkilöjoukolla, jolloin tulokset olisivat todennäköisemmin selvempiä, ja niiden luotettavuudesta voitaisiin olla nykyistä varmempia. Lisäksi koeasetelmissa saattaisi olla tulevaisuudessa perusteltua mitata useampia kognitiivisen suoriutumisen osa-alueita ja kognitiivista suoriutumista myös itse rasituksen aikana. Sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välisistä yhteyksistä tarvitaan siitäkkin lisää tietoa. Sykkeen mittaaminen myös kognitiiv-

visten testien aikana saattaisi tuoda lisää tietoa kognitiivisen suoriutumisen takana olevista tekijöistä, mm. autonomisen hermoston toiminnasta. Myös EEG-mittausta uutena mittaussuunnitelmana kannattaisi harkita.

Aiemmin käsitellyistä muuttujien autonomisuuteen liittyvistä ongelmista johtuen olisi myös perusteltua pyrkiä sellaisiin tutkimusasetelmiin, jossa tätä voitaisiin edes jossain määrin kontrolloida: esimerkiksi siis siten, että myös koehenkilöiden kehon koostumuksessa pyrittäisiin suurempaan variaatioon ja kontrastiivisuuteen.

Tässä tutkimuksessa suurin osa merkitsevistä tuloksista liittyi rasituksen jälkeiseen oppimiskykyyn. Näyttäisikin siis siltä, että jatkossa fyysisen kunnon, rasituksen ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä tutkittaessa erityistä huomiota kannattaa kiinnittää oppimiseen kognitiivisen suoriutumisen osana. Oppimisesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä saatavalla tiedolla on todennäköisesti myös huomattavaa käytännön merkitystä esim. oppimishäiriöiden suhteen: jo nyt liikuntareseptejä määrätään moniin selkeän fyysisiin sairauksiin. Ehkä liikuntaresepti on tulevaisuudessa osa myös erilaisten oppimisen ongelmien ratkaisemista.

LÄHTEET

- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J. J., Aleman, A. & Vanhees, L. 2008. Physical Activity and Enhanced Fitness to Improve Cognitive Function in Older People without Known Cognitive Impairment (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2008, Issue 2.
- Antila, K. 1989. Kardiovaskulaarinen autonominen säätely. Teoksessa S. J. Piha (toim.) *Autonomisen hermoston toimintakokeet*. Turku : Kansaneläkelaitoksen kuntoutustutkimuskeskus, 11-24.
- Atkinson, R. L., Atkinson, R. C., Smith, E. E., Bem, D. J. & Nolen-Hoeksema, S. 2000. *Hilgard's Introduction to Psychology*. 13th ed. Fort Worth (Tex.) : Harcourt College Publishers.
- Baltes, P. B., Reese, H. W. & Lipsitt, L. P. 1980. Life-span developmental Psychology. *Annual Review of Psychology* 31, 65-110.
- Baltes, P., Lindenberger, U. & Staudinger, U. 1998. Life-Span Theory in Developmental Psychology. Teoksessa R. Lerner (toim.) *Handbook of Child Psychology*, 5. p. New York : John Wiley & Sons, 1029-1143.
- Baranski J. V., Gil, V. McLellan, T. Moroz, D., Buguet, A. & Radomski, M. 2002. Effects of Modafinil on Cognitive Performance During 40 Hr of Sleep Deprivation in a Warm Environment. *Military Psychology* 14, 23-47.
- Baranski, J. V., Cian, C., Esquivié D., Pigeau, R. A. & Raphel, C. Modafinil During 64 Hr of Sleep Deprivation : Dose Related Effects on Fatigue, Alertness, and Cognitive Performance. *Military Psychology* 10, 173-193.
- Borodulin, K. 2006. Physical Activity, Fitness, Abdominal Obesity and Cardiovascular Risk Factors in Finnish Men and Women : The National FINRISK 2002 Study. Helsinki : National Public Health Institute (Kansanterveyslaitos).
- Bouchard, C. & Shephard, R. J. 1994. Physical Activity, Fitness and Health : The Model and Key Concepts. Teoksessa C. Bouchard, R. J. Shephard & T. Stephens (toim.) *Physical Activity, Fitness and Health : International Proceedings and Consensus Statement*. Champaign (IL) : Human Kinetics Publishers, 77-88.
- Brisswalter, J., Collardeau, M. & René, A. 2002. Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance. *Sports Medicine* 32, 555-566.

- Broadbent, D. E. 1950. The Twenty Dials Test Under Quiet Conditions. Medical Research Council Applied Psychology Unit Report.
- Broadbent, D. E. 1958. Perception and Communication. Lontoo : Pergamon Press.
- Brownley, K. A., Hurwitz, B. E., & Schneidermann, N. 2000. Cardiovascular Psychophysiology. Teoksessa J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (toim.) Handbook of Psychophysiology, 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 224-264.
- Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., Brown, D. L. & Smith, J. K. 2004. The Effects of 37 Hours of Continuous Wakefulness on the Psychological Arousal, Cognitive Performance, Self-Reported Mood, and Simulator Flight Performance on F-117A Pilots. *Military Psychology* 16, 163-184.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E. & Christenson, G. M. 1985. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness : Definitions and Distinctions for Health-related Research. *Public Health Reports* 100(2), 126-131.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M & Erwin H. E. 2007. Physical Fitness and Academic Achievement in Third- and Fifth-Grade Students. *Journal of Sports & Exercise Psychology* 29, 239-252.
- Churchill, J. D., Galvez, R., Colcombe, S., Swain, S. A., Kramer, A. F., & Greenough, W. T. 2002 Experience, Aging and the Aging Brain. *Neurobiology of Aging* 23, 941-955.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A.G., Cohen, N. J., McAuley, E. & Kramer, A.F. 2003. Aerobic Fitness Reduces Brain Tissue Loss in Aging Humans. *Journals of Gerontology / Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 58, 176-180.
- Cotman, C. W. & Berchtold, N. C. 2002 Exercise : A Behavioral Intervention to Enhance Brain Health and Plasticity. *Trends in Neurosciences* 25, 295-301.
- Craft, N. & Schwartz J. B. 1995. Effects of age on intrinsic heart rate, heart rate variability and AV conductivity in healthy humans. *American Journal of Physiology* 268(4/II), 1441-1452.
- Craig, A., Davies, D. R. & Matthews, G. 1987. Diurnal Variation, Task Characteristics and Vigilance Performance. *Human Factors* 29, 675-684.
- Davies, D. R. & Parasuraman, R. 1982. The Psychology of Vigilance. Lontoo : Academic Press

- Davies, D. R., Shackleton, V. J. & Parasuraman, R. 1983. Monotony and boredom. Teoksessa G. R. J. Hockey (toim.) *Stress and Fatigue in Human Performance*. Chichester : Wiley, 1-34.
- Deese, J. 1955. Some Problems in the Theory of Vigilance. *Psychological Review* 62, 359-368.
- Despopoulos, A. & Silbernagl, S. 2003. *Color Atlas of Physiology*. 5th edition, completely revised and expanded. Wemding : Georg Thieme Verlag.
- Duffy, E. 1962. *Activation and Behavior*. New York : Wiley.
- Durnin, J. V. G. A & Rahaman, M. M. 1967. The Assessment of the Amount of Fat In the Human Body from Measurements of Skinfold Thickness. *British Journal of Nutrition* 21, 681-689.
- Endres, M., Gertz, K., Lindauer, U., Katchanov, J., Schultze, J. Schrock, H., Nickenig, G., Kuschinsky, W., Dirnagl, U. & Laufs, U. 2003. Mechanisms of Stroke Protection by Physical Activity. *Annals of Neurology* 54, 582-590.
- Engström, G., Svensson, T. H. & Waldeck, B. 1974. Thyroxine and Brain Catecholamines : Increased Transmitter Synthesis and Increased Receptor Sensitivity. *Brain Research* 77, 471-483.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M. & Sibley, B. A. 2006. A Meta-Regression to Examine the Relationship Between Aerobic Fitness and Cognitive Performance. *Brain Research Reviews* 52, 119-130.
- Faller, A., Schünke, M. & Schünke, G. 2004. *The Human Body : An Introduction to Structure and Function*. Pliezhausen : Georg Thieme Verlag.
- Forsström, J. & Antila, K. 1989. Sykevaihtelu biologisena ilmiönä. Teoksessa S. J. Piha (toim.) *Autonomisen hermoston toimintakokeet*. Turku : Kansaneläkelaitoksen kuntoutustutkimuskeskus, 80-83.
- Froelicher, V. F. & Stahr, S. G. 2005. *General Principles of Exercise Testing*. Teoksessa J. S. Skinner (toim.) *Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases*. Philadelphia (PA) : Lippincott Williams & Wilkins, 4-12.
- Galenos 2001. *Galenos : Ihmiselimistö kohtaa ympäristön*. Porvoo : Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Gevens, A., Smith, M. E. & McEvoy, L. K. 2002. Tracking the Cognitive Pharmacodynamics of Psychoactive Substance with Combinations of Behavioural and Neuropsychological Measures. *Neuropsychopharmacology* 26(1), 27-39.

- Gómez-Pinilla, F., Huie, J. R., Ying, Z., Ferguson, A. R., Crown, E. D., Baumbauer, K. M., Edgerton, V. R. & Grau, J. W. 2007. BDNF and Learning : Evidence that Instrumental Training Promotes Learning within the Spinal Cord by Up-Regulating BDNF Expression. *Neuroscience* 148, 893-906.
- Hansen, A. L., Johnsen, B. H., Sollers III J. J., Stenvik K. & Thayer, J. F. 2004. Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function : the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology* 93, 263-272.
- Hargreaves, M. 2006. Exercise Physiology and Metabolism. Teoksessa L. Burke & V. Deakin (toim.) *Clinical Sports Nutrition*. 3. p. Kiina : McGraw-Hill Australia, 1-20.
- Harris, W. C., Hancock, P. A. & Harris, S. C. 2005. Information Processing Changes Following Extended Stress. *Military Psychology* 17, 115-128.
- Hautala, A. 2004. Effect of Physical Exercise on Autonomic Regulation of Heart Rate. Oulu : Oulu University Press.
- Head, H. 1923. The conception of nervous and mental energy. II. Vigilance : a physiological state of nervous system. *British Journal of Psychology* 14, 126-147.
- Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A. & Jolles, J. 1996. Cognitive Performance After Strenuous Physical Exercise. *Perceptual and Motor Skills* 83, 479-488.
- Howley, E. T. 2001. Type of Activity : Resistance, Aerobic and Leisure Versus Occupational Physical Activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 27, 1292-1301.
- Huikuri, H., Linnaluoto, M., Seppänen, T., Airaksinen, K., Kessler, K., Takkunen, J. & Myerburg, R. 1992. Circadian Rhythm of Heart Rate Variability in Survivors of Cardiac Arrest. *American Journal of Cardiology*, 610-615.
- Huikuri, H., Valkama, J., Airaksinen, K., Seppänen, T., Kessler, K., Takkunen, J. & Myerburg, R. 1993. Frequency Domain Measures of heart Rate Variability Before the Onset of Non-Sustained and Sustained Ventricular Tachycardia in Patients with Coronary Artery Disease. *Circulation*, 1220-1228.
- Hämäläinen, H., Laine, M., Aaltonen, O. & Revonsuo, A. 2006. Mieli ja aivot : Kognitiivisen neurotieteen oppikirjan sanasto. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.) *Jyväskylä : Turun yliopisto*, 450-460.
- Ishizuka T., Murakami, M. & Yamatodani, A. 2008. Involvement of Central Histaminergic Systems in Modafinil-induced but not Methylphenidate-Induced Increases in Locomotor Activity in Rats. *European Journal of Pharmacology* 579, 86-92.

- Jackson, A. S., Blair, S. N., Mahar, M. T., Wier, L. T., Ross, R. M. & Stuteville, J. E. 1990. Prediction of Functional Aerobic Capacity without Exercise Testing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 22, 863-870.
- Jagust, W., Harvey, D., Mungas, D. & Haan, M. 2005. Central Obesity and the Aging Brain. *Archives of Neurology* 62, n/a.
- James, W. 1890. *Principles of psychology*. New York : Holt.
- Jamurtas, A. Z., Koutedakis, Y., Paschalis, V., Tofas, T., Yfanti, C., Tsiokanos, A., Koukoulis, G., Kouretas, D. & Loupos, D. 2004. The Effects of a Single Bout of Exercise on Resting Energy Expenditure and Respiratory Exchange Ratio. *European Journal of Applied Physiology* 92, 393-398.
- Kalat, J. W. 2007. *Biological Psychology*. 9th ed. Belmont (CA) : Wadsworth/Thomson.
- Kansanterveyslaitos 2008. Tietoa terveydestä : Sydän ja verisuonitaudit. Saatavilla WWW-muodossa <URL:http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/terveys_ja_sairaudet/sydan-ja_verisuonisairaudet/>. Viitattu 20.5.2008.
- Kinnunen, H., Hautala, A., Mäkikallio, T., Tulppo, M. & Nissilä, S. 2000. Artificial neural network in predicting maximal aerobic power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(5) Supplement, Abstract.
- Kinnunen, M-L. 2005. Allostatic load in relation to psychosocial stressors and health. Jyväskylä : Jyväskylän yliopisto.
- Klein, S. B. & Thorne, M. 2007. *Biological Psychology*. New York : Worth Publishers.
- Knudsen, E. I. 2007. Fundamental Components of Attention. *Annual Review of Neuroscience* 30, 57-78.
- Koivisto, M. 2006. Johdatus muistin ja tarkkaavaisuuden käsitteisiin. Teoksessa H. Hämmäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.) *Mieli ja aivot*. Jyväskylä : Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus / Turun yliopisto, 195-199.
- Krueger, G. P. 1989. Sustained Work, Fatigue, Sleep Loss and Performance. A Review of the Issue. *Work and Stress* 3, 129-141.
- Kupari, M. & Kettunen, R. 2000. Sydämen fysiologiaa. Teoksessa J. Heikkilä, H. Huihuri, K. Luomanmäki, M. S. Nieminen & K. Peuhkurinen (toim.) *Kardiologia*. Jyväskylä : Kustannus Oy Duodecim, 31-57.
- Lagarde, D., & Batejat, D. 1995. Disrupted sleep-wake rhythm and performance: Advantages of modafinil. *Military Psychology* 7, 165-191.
- Laitio, T., Scheinin, H., Kuusela, T., Mäenpää, M. & Jalonen, J. 2001. Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo? *Finnanest* 34, 249-255.

- Larsen, R. P. 2001. Decision Making by Military Students Under Severe Stress. *Military Psychology* 13, 89-98.
- Laukkanen, R. 2004. Polar Kuntotesti. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. Tampere : Liikuntatieteellinen seura, 80.
- Lehtimäki, K. 2008. *Seizures and Cytokines : Experimental and Clinical Studies*. Tampere : Tampereen yliopisto.
- Mackworth, J. F. 1968. Vigilance Arousal and Habituation. *Psychological Review* 75, 308-322.
- Mackworth, J. F. 1969. *Vigilance and Habituation*. Harmondsworth : Penguin Books.
- Mackworth, N. H. 1950. *Researches on the Measurement of Human Performance*. Medical Research Council Special Report Series 268. Lontoo : Her Majesty's Stationery Office (HMSO)
- Mackworth, N. H. 1957. Some factors affecting vigilance. *Advanced Science* 53, 389-393.
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J., Kleiger, R. E., Malliani, A., Moss, A. J. & Schwartz P. J. 1996. Heart Rate Variability : Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use. *Circulation* 93, 1043-1065.
- Manore, M. M. & Thompson, J. L. 2006. Energy Requirement of the Athlete : Assessment and Evidence of Energy Efficiency. Teoksessa L. Burke & V. Deakin (toim.) *Clinical Sports Nutrition*. 3. p. Kiina : McGraw-Hill Australia., 113-134.
- Mason, L. I. & Patterson, R. P. 2003. Determining the Relationship of Heart Rate and Blood Pressure Using Voluntary Cardio-Respiratory Synchronization (VCRS). *Physiological Measurement* 24, 847-857.
- Matthews, G., Davies, D. R. & Lees, J. L. 1990. Arousal, Extraversion and Individual Differences in Resource Availability. *Journal of Personality and Social Psychology* 59, 150-168.
- Matthews, G., Davies, D. R., Westerman, S. J. & Stammers, R. B. 2000. *Human Performance : Cognition, stress and individual differences*. Hove : Psychology Press Philadelphia (PA) : Taylor & Francis Group.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch., V. L. 2001. *Exercise Physiology : Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5th ed. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins.

- MeSH 2008. Medical Subject Headings. Saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://www.nlm.nih.gov/mesh/meshhome.html>>. Bethesda : United States National Library of Medicine. Viitattu 21.5.2008.
- Metsämuuronen, J. 2005. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. 3. p. Jyväskylä : International Methelp.
- Moray, N., Haudegond, S. & Delange, M. 1999. An Absence of Vigilance Decrement for Complex Signals in Fault Detection. Teoksessa M. A. Hanson, E. J. Lovesey & S. A. Robertson (toim.) Contemporary Ergonomics 1999. Proceedings of the 50th Annual Conference of the Ergonomics Society. Lontoo : Routledge.
- MOT Lääketiede 2008. MOT Lääketiede 2.0 lääketieteen verkkosanakirja. Saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://mot.kielikone.fi/>> Helsinki : Kielikone. Viitattu 30.5.2008.
- Mäkikallio, T. 1998. Analysis of Heart Rate Dynamics by Methods Derived from Non-linear Mathematics. Oulu : Oulun yliopisto.
- Newson, R. S. & Kemps, E. B. 2008. Relationship Between Fitness and Cognitive Performance in Younger and Older Adults. *Psychology & Health* 23, 369-383.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 1999. Ihmisen fysiologia ja anatomia. 15. uud. p. Porvoo : Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Nienstedt, I. 1980. Fysiologian ja anatomian perusteet. 3. p. Porvoo : Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Nuechterlein, K., Parasuraman, R. & Jiang, Q. 1983. Visual Sustained Attention : Image Degradation Produces Rapid Sensitivity Decrement Over Time. *Science* 20, 327-329.
- Nummela, A. 2004. Kestävyyssominaisuuksien mittaaminen. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen (toim.) Kuntotestauksen käsikirja. Tampere : Liikuntatieteellinen seura, 51-124.
- Oja, P. 2005. Terveyskunto ja sen mittaaminen. Teoksessa I. Vuori, S. Taimela & U. Kujala (toim.) Liikuntalääketiede, 3. uud. p. Hämeenlinna : Kustannus Oy Duodecim, 92-101.
- Osterberg, K. L. & Melby, C. L. 2000. Effect of Acute Resistance Exercise on Post-exercise Oxygen Consumption and Resting Metabolic Rate. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 10(1), 71-81.
- Parasuraman, R. & Moulua, M. 1987. Interaction of Signal Discriminability and Task Type in Vigilance Decrement. *Perception and Psychophysics* 41, 17-22.

- Parasuraman, R. 1984. The Psychobiology of Sustained Attention. Teoksessa J. S. Warm (toim.) Sustained Attention and Human Performance. Chichester : John Wiley & Sons, 61-101.
- Parasuraman, R. 1985. Sustained Attention : A Multifactorial Approach. Teoksessa M. Posner & O. S. M. Marin (toim.) Attention and Performance XI. Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates Inc, 493-511.
- Partinen, M. & Huovinen, M. 2007. Terve uni. Helsinki : Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D & Soetens, E. 2008. Psychophysiological Investigation of Vigilance Decrement : Boredom or Cognitive Fatigue? *Physiology & Behaviour* 93, 369-378.
- Petruzzello, S. J., Landers, D. M. & Hatfield, B. D. 1991. A Meta-Analysis on the Anxiety-reducing Effects of Acute and Chronic Exercise. *Sport Medicine* 11, 143-182.
- Piha, S. J. 1988. Cardiovascular autonomic function tests : responses in healthy subjects and determination of the age-related reference values. Turku : Rehabilitation Research Center of the Social Insurance Institution.
- Rosenwinkel, E. T., Bloomfield, D. M., Arwady, M. A. & Goldsmith, R. L. 2001. Exercise and Autonomic Function in Health and Cardiovascular Disease. *Cardiology Clinics* 19, 369-387.
- Ruxton, C. H. S. 2008. The Impact of Caffeine on Mood, Cognitive Function, Performance and Hydration : A Review of Benefits and Risks. *Nutrition Bulletin* 33, 15-25.
- Saalisti, S. 2003. Neural Networks for Heart Rate Time Series Analysis. Jyväskylä : University of Jyväskylä.
- Sairanen, M. 2007. Neurotrophins and Neuronal Plasticity in the Action of Antidepressants and Morphine. Helsinki : Helsingin yliopisto.
- Shephard, R. J. 1992. Semantic and Physiological Definitions [of Physical Activity, Exercise and Physical Fitness]. Teoksessa R. J. Shephard & P.-O. Åstrand (toim.) Endurance in Sport. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 3-7.
- Short, K. R. & Sedlock, D. A. 1997. Excess Postexercise Oxygen Consumption and Recovery Rate in Trained and Untrained Subjects. *Journal of Applied Physiology* 83, 153-159.

- Shvartz, E. & Reibold, R. C. 1990. Aerobic Fitness Norms for Males and Females aged 6 Years to 75 Years : A Review. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 61(1), 3-11.
- Skinner, J. & Oja, P. 1994. Laboratory and Field Tests for Assessing Health-Related Fitness. Teoksessa C. Bouchard & R. Stephens (toim.) *Physical Activity, Fitness and Health*. Champaign : Human Kinetics Publishers, 160-179.
- Smit, H. J. & Rogers, P. J. 2000. Effects of Low Doses of Caffeine on Cognitive Performance, Mood and Thirst in Low and Higher Caffeine Consumers. *Psychopharmacology* 152, 167-176.
- Speakman, J. R. & Selman, C. 2003. Physical Activity and Resting Metabolic Rate. *Proceedings of the Nutrition Society* 62, 621-634.
- Tomporowski, P. D. & Ellis, N.R. 1986. Effects of Exercise on Cognitive Process : A Review. *Psychological Bulletin* 99, 338-346.
- Tuomainen, P. 2005. Physical Exercise in Clinically Healthy Men and in Patients with Angiographically Documented Coronary Artery Disease with Special Reference to Cardiac Autonomic Control and Warm-Up Phenomenon. Kuopio : University of Kuopio.
- Vaara, J., Kyröläinen, H., Kilpeläinen, A., Oksanen, H., Siiskonen, V., Koivu, M., Mattila, R., Mäntysaari, M., Lyytinen, H., Virravirta, M. & Finni, T. 2007. Kuudenkymmenen tunnin valvomisen fysiologiset ja psykologiset vasteet sekä vaikutukset hermolihasjärjestelmän toimintaan ja oppimiseen. Helsinki : Maanpuolustuskorkeakoulu.
- Van Praag, H. 2006. Exercise, Neurogenesis and Learning in Rodents. Teoksessa E. O. Acevedo & P. Ekkekakis (toim.) *Psychobiology of Physical Activity*. Champaign (IL) : Human Kinetics, 61-74.
- Van Praag, H. 2008. Neurogenesis and Exercise : Past and Future Directions. *Neuromolecular Medicine*. Sähköinen julkaisu (ennen painettua julkaisua) 20.2.2008. Saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.springerlink.com/content/y1518757-15540800/>>. Viitattu 30.5.2008.
- Vaynman, S. S., Ying, Z., Yin, D. & Gómez-Pinilla, F. 2006. Exercise Differentially Regulates Synaptic Proteins Associated to the Function of BDNF. *Brain Research* 1070, 124-130.
- Wickens, A. 2000. *Foundations of Biopsychology*. Harlow : Prentice-Hall

- Wikgren, J. 2002. Diffuse and Discrete Associations in Aversive Classical Conditioning. Jyväskylä : Jyväskylän yliopisto.
- Vilkko-Riihelä, A. 1999. Psykye. 1.-4. p. Helsinki : Werner Söderström Osakeyhtiö.
- Winsley, R. 2002. Acute and Chronic Effects of Exercise on Heart Rate Variability in Adults and Children : A Review. *Pediatric Exercise Science* 14, 328-344.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F.C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Krueger, K., Fromme, A., Korsukewitz, C., Floel, A. & Knecht, S. 2007. High Impact Running Improves Learning. *Neurobiology of Learning and Memory* 87, 597-609.
- Väänänen, I. 2004. Physiological Responses and Mood States after Daily Repeated Prolonged Exercise. *Journal of Sports Science & Medicine* 3, Supplementum 6.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. 1908. The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-Formation. *Journal of Comparative Neurological Psychology* 18, 459-482.

Työssä esiintyvien anatomian, fysiologian ja lääketieteen termien suomenkielisten vastineiden lähteenä on käytetty Kielikoneen julkaisemaa MOT Lääketiede 2.0 –sanakirjaa. Joissain tapauksissa suomenkielisten termien yhteyteen on selvyuden vuoksi merkitty termin yleisesti käytetty englannin- tai latinankielinen vastine.

LIITTEET

LIITE 1 – Tutkimuksen koehenkilötiedote

Jyväskylän yliopisto
Liikuntabiologian laitos

Helmikuu 2006

ARVOISA VAPAAEHTOINEN

Olet ilmoittautunut vapaaehtoiseksi Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksella toteutettavaan tutkimukseen ”Rasitus, fyysinen kunto ja kognitiivinen suoriutuminen”. Kiitos tutkimusta kohtaan osoittamastasi mielenkiinnosta!

Tämän koehenkilömateriaalin tarkoituksena on antaa Sinulle tarkempia tietoja toteutettavasta tutkimuksesta, asemastasi tutkimuksen koehenkilönä ja tutkimukseen kannaltasi mahdollisesti liittyvistä riskeistä. Lisäksi materiaali sisältää esitieto- ja suostumuslomakkeen, jonka toivomme Sinun täyttävän ja palauttavan 28.2.2006 mennessä osoitteeseen:

Jyväskylän yliopisto
Panu Moilanen / AgC 534.2
PL 35
40 014 JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

Taustatieto- ja suostumuslomakkeessa annetaan tarkempia tietoja sillä kerättävien tietojen käytöstä ja käsittelystä.

Tutkijoiden yhteystiedot

Tutkimuksen tekijä
liik.yo Panu Moilanen
puh 050-5427316, sähköposti: panu.moilanen@jyu.fi

Työn ohjaaja
LitT Teemu Pullinen
puh 014-260 3160, sähköposti: teemu.pullinen@sport.jyu.fi

Tutkimuksen taustatiedot

Tutkimus tehdään Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnan liikuntabiologian laitoksella. Tutkimus on osa laitoksen tutkimushanketta, jossa tämän tutkimuksen ohella tehdään toinen tutkimus, jossa tutkitaan fyysistä rasitusta. Tästä tutkimuksesta valmistuu yksi pro gradu -opinnäytetyö, minkä lisäksi tutkimusaineistoa voidaan käyttää muissa julkaisuissa. Tutkimus suoritetaan keväällä ja kesällä 2006, ja tutkimuksen raportoinnin on tarkoitus valmistua vuoden 2006 aikana. Tutkimuksen rahoittavat Jyväskylän yliopisto ja Laskuvarjojääkärikilta.

Tutkimusaineiston säilyttäminen

Tutkimusaineisto säilytetään kahtena erillisenä kokonaisuutena, joista toinen sisältää erityisen tunnisteiden avulla yksilöidyt varsinaiset tutkimustulokset ja koehenkilöiden taustatiedot sekä toinen tiedot, joiden avulla koehenkilöiden henkilötiedot voidaan yhdistää em. toiseen tietojoukkoon. Itse tutkimuksessa (esim. tietojen tilastollisessa käsittelyssä) käytetään ainoastaan ensimmäistä tietojoukkoa. Tutkimuksen jälkeen tietoja säilytetään huolellisesti ja turvallisessa paikassa eri tietovälineillä siten, ettei kumpikaan tietojoukoista voi päätyä sivullisten tietoon.

Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys

Tutkimuksen tavoitteena on tutkia maksimaalisen hapenottokyvyn avulla mitatun fyysisen kunnon, rasituksen, sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välisiä yhteyksiä. Tutkimuksessa koehenkilöiden maksimaalinen hapenottokyky, kognitiivinen suoriutuminen ja sykevälivaihtelu mitataan kahdella eri tutkimuskerralla, minkä jälkeen mittaustuloksista pyritään tilastollisten analyysien avulla löytämään tutkimuksen tavoitteen mukaisia korrelaatioita. Tutkimuksen hypoteesina on, että a) maksimaalisen hapenottokyvyn ja kognitiivisen suoriutumisen välillä vallitsee positiivinen korrelaatio, b) tämä korrelaatio on havaittavissa myös lepotilassa mitatun sykevälivaihtelun ja kognitiivisen suoriutumisen välillä, c) kognitiivinen suoriutuminen heikkenee rasituksen seurauksena.

Menettelyt, joiden kohteeksi koehenkilöt joutuvat

Kullekin koehenkilölle suoritetaan seuraavat mittaukset:

1. mittauskerta

- a) Koehenkilön kehon peruskoostumus (pituus, paino ja rasvaprosentti) selvitetään ja kyynärtaipeen iholaskimosta otetaan verinäyte, josta tutkitaan liitteessä yksi luetellut muuttujat.
- b) Koehenkilön sykettä rekisteröidään lepotilassa (makuulla), ja suoritetaan ns. ortostaattinen koe. Ortostaattisessa kokeessa koehenkilö nousee tai hänet nostetaan makuulta pystyasentoon, ja samalla hänen sykettään rekisteröidään.
- c) Koehenkilö osallistuu kognitiivisen suoriutumisen testiin, joka suoritetaan tietokoneella. Testi koostuu kahdesta erillisestä testistä, ja sen arvioitu kesto on noin tunti. Koehenkilön sykettä rekisteröidään koko kognitiivisen testin ajan.
- d) Kognitiivisen testin jälkeen koehenkilö osallistuu maksimihapenottokyvyn testiin, joka suoritetaan sauvakävelynä juoksumatolla. Testi suoritetaan nousevin kuormin siten, että kuormaa nostetaan maton kulmaa ja nopeutta määrävälein säääten. Testiä jatketaan uupumukseen saakka. Testin aikana tutkittava hengittää erityisen maskin kautta, ja hänen uloshengitysilmansa johdetaan hengityskaasuanalysaattoriin, joka määrittää testin ajalta standardeja hengitysmuuttujia (ventilaatio, hengitystaajuus, hapenkulutus, respiratorinen ekvivalentti). Lisäksi tutkittavan syke rekisteröidään koko testin ajalta ja veren laktaattipitoisuutta mitataan määrävälein.
- e) Välittömästi maksimihapenottokyvyn testin jälkeen kognitiivisen suoriutumisen testi uusitaan täysin ensimmäisen kerran kaltaisena mutta eri ärsykesarjalla.

2. mittauskerta

Toinen mittauskerta on täsmälleen samanlainen kuin ensimmäinen, ja se järjestetään noin kahden kuukauden kuluttua ensimmäisestä mittauskerrasta. Mittauskertojen välillä koehenkilöiden odotetaan mahdollisuuksien mukaan pitävän liikuntapäiväkirjaa.

Harkinnan mukaan osa tai kaikki mittauksista voidaan jättää suorittamatta osalle tai kaikille koehenkilöille. Arvio ja päätös koehenkilön soveltuvuudesta ja hyväksymisestä tutkimukseen tehdään Jyväskylän yliopistossa koehenkilön antamien esitietojen perusteella.

Tutkimuksen hyödyt ja haitat koehenkilölle

Maksimaalisen hapenottokyvyn testiä jatketaan uupumukseen saakka, mistä johtuen sitä voidaan pitää suhteellisen rasittavana. Joidenkin koehenkilöiden mielestä testi saattaa olla epämiellyttävä. Joissakin erittäin harvinaisissa tilanteissa testi saattaa aiheuttaa tavanomaisia rasittavaan liikuntaan liittyviä ongelmia, kuten lihasrevähtymiä ja -arkuutta, sydän- ja verenkiertoelimistön toimintahäiriöitä sekä tapaturmia. Nämä ovat kuitenkin erittäin epätodennäköisiä. Mahdollisiin ongelmiin on varauduttu testiin liittyvin turvajärjestelyin ja ensiapuvalmiudella. Verinäytteiden otto kyynärtaipeen iholaskimosta ja sormenpäistä saattaa aiheuttaa otokohtiin hieman arkuutta. Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitos on vakuuttanut koehenkilöt tutkimusten ajaksi.

Vastineeksi koehenkilönä toimimisesta koehenkilöt saavat monipuolista tietoa itsestään (mm. tarkan tiedon fyysisestä suorituskyvystään). Kunkin koehenkilön mittaustuloksista tehdään lyhyt yhteenveto, joka luovutetaan koehenkilölle. Halutessaan lisätietoja tutkimuksesta tai omista tuloksistaan koehenkilö voi milloin tahansa ottaa yhteyttä tutkimuksen toteuttajaan.

Tutkimusmateriaalin käyttö

Tutkimusmateriaalia käytetään ainakin yhden pro gradu -työn aineistona. Lisäksi materiaalia voidaan tässä asiakirjassa esitettyjen menettelytapojen mukaan käyttää liikuntabiologian laitoksen harkinnan mukaan muissa julkaisuissa. Koehenkilöille ilmoitetaan sähköpostitse, jos materiaalia käytetään muissa julkaisuissa kuin siinä pro gradu -työssä, jota varten materiaali on alun perin kerätty.

Tutkittavien oikeudet Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Koehenkilöillä on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mittauksista ja keskeyttää testit ilman, että siitä aiheutuu mitään seuraamuksia. Tutkimuksen järjestelyt ja tulosten raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan ja tutkijaryhmän käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Tutkittavilla on oikeus saada lisätietoja tutkimuksesta tutkijaryhmän jäseniltä missä vaiheessa tahansa.

Vakuutus Tutkittavat on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa. Vakuutusyhtiöt eivät kuitenkaan korvaa äkillisen ponnistuksen aiheuttamaa lihas- tai jän-

nerevähdyistä, ellei siihen liity ulkoista syytä. Tapaturmien ja sairastapausten välittömään ensiapuun mittauksissa on varauduttu tutkimusyksikössä. Laboratoriossa on ensiapuvälineet ja varusteet, joiden käyttöön henkilökunta on perehtynyt. Tutkittavalla olisi hyvä olla oma henkilökohtainen tapaturma/sairaus- ja henkivakuutus, koska tutkimusprojekteja varten vakuutusyhtiöt eivät myönnä täysin kattavaa vakuutusturvaa esim. sairauskohtauksien varalta.

Suostumus

Koehenkilöä pyydetään antamaan suostumuksensa häntä koskevien mittauksien käyttämiseen tämän kuvauksen mukaisessa tutkimuksessa. Suostumus annetaan esitieto- ja suostumuslomakkeen sivulla kaksi, jolla on varsinainen suostumusteksti sekä tila allekirjoitukselle.

Verinäytteen analyysit

Hormonit

Testosteroni, vapaa
 Testosteroni, kokonaismäärä
 Kortisoli
 Tyroksiini (T4-v)
 Kasvuhormoni
 SHBG (sukupuolihormoneja sitova globuliini)
 Insuliini

Hematologia

Verenkuva
 Glukoosi, natrium, kalsium, kalium-ionit

Kemia

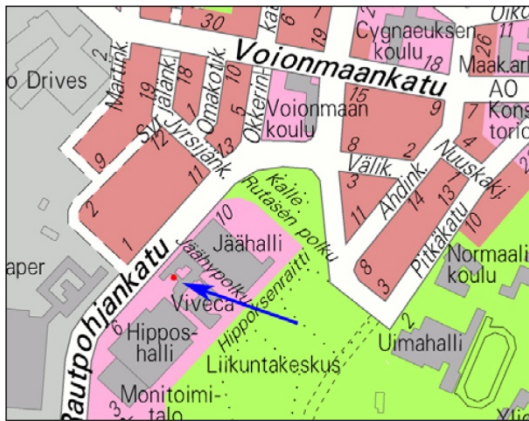
Albumiini
 Kolesterolit, HDL
 Kolesterolit, LDL (laskennallinen)
 Kokonaiskolesterolit
 Kreatiniini
 Lipaasi
 Magnesium
 Kalsium
 Proteiini
 Rauta
 Triglyseridit
 Urea
 Glyseroli
 Vapaat rasvahapot

Tervetuloa testiin!

Tässä asiakirjassa on Sinulle tietoja koehenkilönä toimimiseen liittyvistä käytännön asioista. Tutustu ohjeisiin huolellisesti. Mikäli mielessäsi herää kysymyksiä, älä epäile ottaa yhteyttä joko sähköpostitse (panu.moilanen@jyu.fi) tai puhelimitse 050-5427 316.

Missä testit tehdään?

Testaus suoritetaan Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden laboratoriossa, jonka osoite on Rautpohjankatu 8. Kulku laboratoriotiloihin tapahtuu Rautpohjankadun kautta. Käytettävä ovi on merkitty seuraavaan karttaan punaisella pisteellä. Oveissa on opaste, jonka avulla voit varmistua olevasi oikeassa paikassa.



Miten valmistaudut testeihin?

Oman turvallisuutesi ja testitulosten luotettavuuden takaamiseksi toivomme Sinun ottavan huomioon seuraavat seikat, kun olet tulossa testattavaksi:

1. Älä käytä alkoholia 24 tuntiin ennen testiä.
2. Vältä testiä edeltävänä päivänä raskasta fyysistä kuormitusta, ml. raskas liikunta.
3. Nuku testiä edeltävänä yönä riittävästi, mieluiten vähintään kahdeksan tuntia.
4. Älä syö tai juo testipäivän aamuna mitään (lasi vettä ei vielä haittaa). Jyväskylän yliopisto tarjoaa Sinulle aamulla yksinkertaisen aamiaisen.
5. Älä tupakoi testipäivän aamuna.

Mitä otat mukaan?

Ota mukaan Sinulle mieluisat urheiluvälineet ja peseytymisvälineet. Käytännössä shortsit, T-paita ja hy-

vät lenkkikengät ovat osoittautuneet hyväksi vaihtoehdoksi. Halutessasi voit ottaa mukaan myös "kynsikkäät". Normaalit hansikkaat eivät ole testissä käytännölliset, koska ne vaikeuttava laktaatinäytteiden ottoa. Voit ottaa mukaasi myös palautumisjuomaa tai vastaavaa. Älä kuitenkaan nauti juomaa ennen kuin vasta toisen kognitiivisen testin jälkeen.

Testipäivän kulku

08.00	Verikoe Ortostaattinen koe
08.45	Aamiaisen
09.00	Testit alkavat varatun aikataulun mukaisesti.

Joillakin aamun ja varsinaisten testien väliin saattaa jäädä pitkäkin aika. Tämä on erittäin valitettavaa mutta väistämätöntä. Hippokselta voi odotusaikana poistua tai voit ottaa mukaasi jotain ajanvietettä. Älä kuitenkaan syö tarjotun aamiaisen lisäksi mitään ennen testiä.

Testiohjeistus

Ennen jokaista testiä saat testin suorittamista koskevia ohjeita. Kuuntele ohjeet huolellisesti ja kysy, jos jotain jää epäselväksi. Varmistu erityisesti, että olet ymmärtänyt ja muistat rasitustestiin liittyvän ns. turvaeleen, jolla voit keskeyttää testin välittömästi.

Testin jälkeen

Testien aikana Sinusta kerätään tietoja liittyen fyysiseen suorituskyykyysi ja kognitiiviseen suoriutumiseesi. Fyysisen testin osalta saat todennäköisesti huhtikuun aikana tietää testipalautteena maksimaalisen hapenottokykyysi, aerobisen kynnyksen ja anaerobisen kynnyksen. Palautteen mukana on myös lyhyt selostus siitä, kuinka voit hyödyntää näitä tietoja harjoittelussasi. Lisäksi saat tietää verinäytteesi analyysitulokset. Kognitiivisesta testistä ei kerry sellaisia tietoja, joista Sinulle olisi merkittävää hyötyä – tiedot ovat sen sijaan erittäin merkittäviä tehtävän tutkimuksen kannalta.

Kysyttävää? Soita 050-5427 316 tai lähetä sähköpostia panu.moilanen@jyu.fi

Mittausaikataulu

08.00-17.00

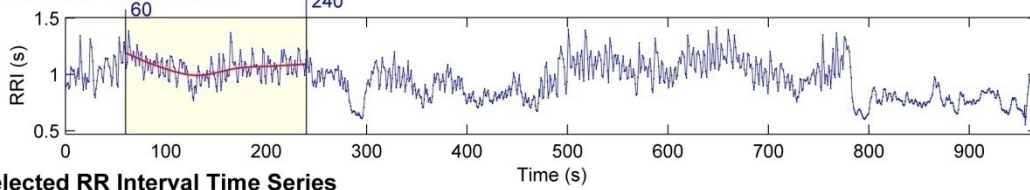
	KOEHENKILÖ 1	KOEHENKILÖ 2	KOEHENKILÖ 3	KOEHENKILÖ 4	KOEHENKILÖ 5
08.00					
08.15	Verikoe ja ortostaattinen testi	Verikoe ja ortostaattinen testi	Verikoe ja ortostaattinen testi	Verikoe ja ortostaattinen testi	Verikoe ja ortostaattinen testi
08.30					
08.45	Aamiainen	Aamiainen	Aamiainen	Aamiainen	Aamiainen
09.00	Kognitiivinen testi 1				
09.15					
09.30					
09.45					
10.00					
10.15		Kognitiivinen testi 1			
10.30	Rasitustesti				
10.45					
11.00					
11.15			Kognitiivinen testi 1		
11.30	Kognitiivinen testi 2	Rasitustesti			
11.45					
12.00				Kognitiivinen testi 1	
12.15		Kognitiivinen testi 2			
12.30			Rasitustesti		
12.45					
13.00					Kognitiivinen testi 1
13.15					
13.30			Kognitiivinen testi 2	Rasitustesti	
13.45					
14.00					
14.15					
14.30				Kognitiivinen testi 2	
14.45					Rasitustesti
15.00					
15.15					
15.30					Kognitiivinen testi 2
15.45					
16.00					
16.15					
16.30					
16.45					
	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00

LIITE 4 – Esimerkki sykevälivaihtelun analyysituloksesta

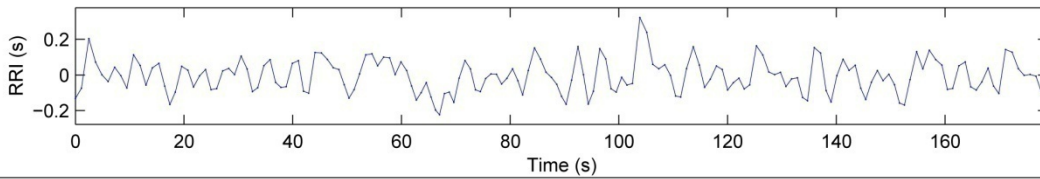
Heart Rate Variability Analysis

Esimerkkidata.hrm
Page 1/1

RR Interval Time Series



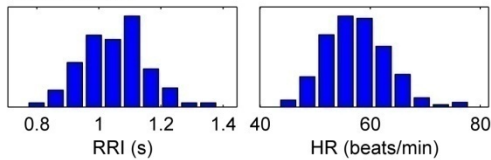
Selected RR Interval Time Series



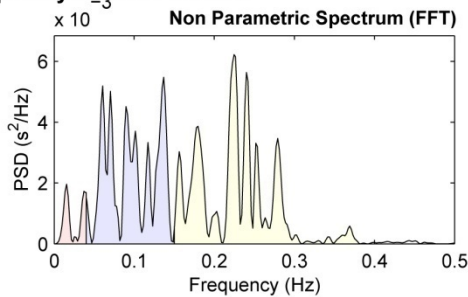
Time Domain Results

Variable	Units	Value
Statistical Measures		
Mean RR*	(s)	1.052
STD	(s)	0.092
Mean HR*	(1/min)	57.61
STD	(1/min)	5.37
RMSSD	(ms)	100.7
NN50	(count)	106
pNN50	(%)	62.4
Geometric Measures		
RR triangular index		0.134
TINN	(ms)	425.0

Distributions*



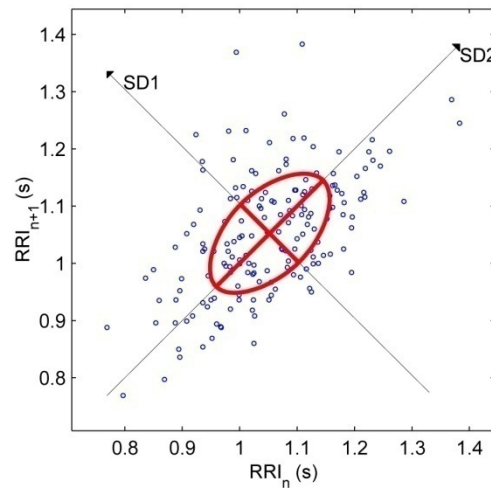
Frequency Domain Results



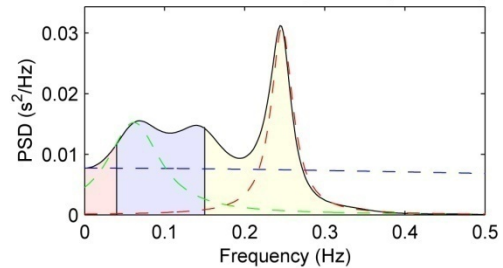
Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0156	29	4.8	
LF	0.1367	256	43.1	45.3
HF	0.2246	310	52.1	54.7
LF/HF			0.827	

Poincare Plot*

SD1 = 71.7 ms ↔ (Short-term HRV)
SD2 = 131.6 ms ↔ (Long-term HRV)



Parametric Spectrum (AR Model)



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	0	0.0	
LF	0.0625	1305	46.9	32.5
HF	0.2461	1474	53.1	36.7
LF/HF			0.885	

LIITE 5 – Koehenkilöiden esitieto- ja suostumuslomake

Tutkimuksen tekijä: Panu Moilanen – Ohjaaja: Teemu Pullinen – Tutkimus: "Rasitus, fyysinen kunto ja kognitiivinen suorituskyky" (JY, 2006)

Koehenkilön esitieto- ja suostumuslomake

Sivu 1(2)

Nimi

Henkilötunnus

Pituus

 cm

Paino

 kg

Vastaathan tässä lomakkeessa esitettyihin kysymyksiin tarkasti ja totuudenmukaisesti. Antamiasi tietoja käsitellään ehdottoman luottamuksellisesti henkilötietolain (523/1999) mukaisesti.

Sinut on vakuutettu testien aikana. Vakuutusyhtiötä varten tarvitsemme henkilötunnuksesi.

Allekirjoita lomake sivulle kaksi. Kiinnitä erityistä huomiota allekirjoituskohdan yhteydessä olevaan suostumustehtiin.

Kiitos!

Fyysisen aktiivisuuden arvio

Ympyröi yksi numero (0-7), joka parhaiten kuvaa yleistä aktiivisuuden tasoasi edellisen kk:n aikana.

En harrasta säännöllistä vapaa-ajan liikuntaa tai raskaita fyysisiä ponnisteluja.

- | | |
|----------|---|
| 0 | Vältän kävelyä ja ylimääräistä ponnistelua, esim. käytän aina liukuportaita ja kävelyn sijasta ajan autolla aina kun mahdollista. |
| 1 | Kävelen huvin vuoksi, käytän pääasiassa portaita, toisinaan harrastan liikuntaa niin että hikoilen ja hengästyn. |

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

- | | |
|----------|---------------------------|
| 2 | 10-60 minuuttia viikossa. |
| 3 | Yli tunnin viikossa. |

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

- | | |
|----------|--|
| 4 | Juoksen vähemmän kuin 2 km viikossa tai harrastan vähemmän kuin 30 minuuttia rasitukseltaan vastaavaa lajia. |
| 5 | Juoksen 2-10 km viikossa tai harrastan 30-60 minuuttia viikossa rasitukseltaan vastaavanlaisia lajia. |
| 6 | Juoksen 10-15 km viikossa tai harrastan 1-3 tuntia viikossa rasitukseltaan vastaavanlaisia lajia. |
| 7 | Juoksen 15 km tai enemmän viikossa tai harrastan yli 3 tuntia viikossa rasitukseltaan vastaavanlaisia lajia. |

Vastaa seuraaviin kysymyksiin.

Sivu 2(2)

KYLLÄ**EI**

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

Aiempi osallistuminen fyysisen kunnon testiin

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

--

Suostumus ja vakuutus annettujen tietojen oikeellisuudesta

Olen tutustunut huolellisesti koehenkilömateriaaliin, suoritettaviin tutkimuksiin ja mittauksiin sekä tutkittavien oikeuksiin ja vakuutusturvaan. Olen ymmärtänyt mittausten tarkoituksen ja niihin liittyvät riskit sekä hyödyt. Olen terve ja suostun vapaaehtoisesti toimimaan koehenkilönä tutkimuksessa minulle annettujen ohjeiden mukaisesti. En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena. Tiedän, että voin haluessani peruuttaa tai keskeyttää osallistumiseni tai kieltäytyä mittauksista missä vaiheessa tahansa. Tutkimustuloksiani saa käyttää tieteelliseen raportointiin (esim. opinnäytetöihin ja julkaisuihin) sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa. Vakuutan vastanneeni tämän lomakkeen kysymyksiin tarkasti ja totuudenmukaisesti.

Paikka ja aika

___/___/2006

Allekirjoitus

LIITE 6 – Yhteenveto koehenkilöiden veren analyysituloksista

Tekijä	Min	Max	Keskiarvo	SE	σ
Kortisoli (nmol/l)	176,00	745,00	404,08	40,39	145,61
Kasvuhormoni (mIU/l)	0,04	7,22	0,85	0,54	1,96
Testosteroni (nmol/l)	10,70	32,70	19,32	1,90	6,86
Tyrosiini (pmol/l)	14,50	21,90	18,18	0,72	2,58
SBG (nmol/l)	20,40	55,80	35,33	3,00	10,83
PKol (mmol/l)	3,28	5,86	4,86	0,23	0,81
PKolHDL (mmol/l)	0,90	2,06	1,31	0,09	0,32
PKolLDL (mmol/l)	1,47	3,98	2,99	0,22	0,80
Triglyseridit (mmol/l)	0,31	2,43	1,22	0,18	0,65

Kortisoli = lisämunuaiskuoren erittämä glukokortikoidi, viitearvo 150-650 nmol/l; Kasvuhormoni (somatotropiini) = aivolisäkkeen etulohkon erittämä, kasvua edistävä ja mm. hiilihydraattiaineenvaihduntaa säätelevä hormoni, viitearvo < 11,5 mIU/l; Testosteroni = kivesten välisolujen erittämä mieshormoni (androgeni), viitearvo 10-38 nmol/l; Tyrosiini = kilpirauhashormoni, viitearvo 10-21 pmol/l; SBG = sukupuolihormoneja sitova globuliini, viitearvo < 60 nmol/l. PKol = kokonaiskolesteroli, viitearvo < 5,0 mmol/l, PKolHDL = HDL-kolesteroli, viitearvo > 1,0 mmol/l, PKolLDL = LDL-kolesteroli, viitearvo < 3,0 mmol/l. Triglyseridit, viitearvot 0,40-1,70 mmol/l.