

**SUORITUSKYKYINDEKSIN TOISTETTAVUUTEEN VAIKUTTAVIA  
TEKIJÖITÄ**

Marko Heikkinen

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Kevät 2015

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

# TIIVISTELMÄ

Marko Heikkinen (2015). Suorituskykyindeksin toistettavuuteen vaikuttavat tekijät. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto, Pro gradu -tutkielma, 71 s.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia tavanomaisesta juoksuharjoituksesta laskettavan suorituskykyindeksin toistettavuutta sekä eri tekijöiden vaikutusta toistettavuuteen. Suorituskykyindeksi perustuu syke-, nopeus- ja maaston korkeustietojen mittaamiseen juoksun aikana. Suorituskykyindeksi on arvio maksimaalisesta teoreettisesta hapenkulutuksesta ja säännöllisesti mitattuna se heijastelee harjoittelijan suoritustasoa.

Tutkimuksessa käytettiin aineistona erään yrityksen internetpohjaista harjoitustietokantaa, johon palvelun käyttäjät ovat tallentaneet juoksuharjoitteludataa säännöllisesti. Otanta tehtiin tietokannasta siten, että tietyt laitevaatimukset sekä harjoitteluun liittyvät vaatimukset täyttävät palvelun käyttäjät valittiin mukaan. Juoksuharjoituksia tuli olla tallennettuna vähintään 100 kpl. Lisäksi maksimi- ja leposykearvot tuli olla asetettuina palveluun. Harjoitteludatan avulla laskettiin useita fysiologisia näytearvoja, joita käytettiin hyväksi datan suodatuksessa ja optimoinnissa. Aineisto analysoitiin Matlab-ohjelmistolla.

Toistettavuuden tunnuslukuna käytettiin yksilökohtaisesti laskettujen suorituskykyindeksien varianssien ryhmäkeskiarvoa (SIvarKa). SIvarKa oli suuruudeltaan 26,3 ennen olosuhteiden vakiointia. Olosuhteita vakioitiin suodattamalla pois sykkeeltään, nopeudeltaan, maaston korkeudeltaan tai teholtaan vaihtelevia harjoituksia. Suodatustestien avulla löydettiin viisi tehokasta suodatinta, jotka valittiin optimointiin. Jokaiselle viidelle suodattimelle määritettiin 10 parametriarvoa suodattimen vaikutusalueelta. Yksittäisistä tekijöistä juoksunopeuden varianssilla ja vaihteluvälillä oli suurin vaikutus suorituskykyindeksiin. Seuraavaksi eniten vaikutusta oli maaston korkeuden vaihteluvälillä, jonka jälkeen eniten vaikuttivat harjoituksen teho ja sykkeen varianssi. Suorituskykyindeksin toistettavuuden tunnusluku pieneni suodattimien optimoinnin tuloksena 62%, ja se laski 26,3:sta 10,0:aan.

Suorituskykyindeksin perustana oleviin sykkeeseen ja juoksunopeuteen vaikuttavat lukuisat ulkoiset ja sisäiset tekijät, joista vain osasta saadaan tietoa harjoitustietokannasta. Kun otetaan huomioon harjoitustietokannassa olleiden harjoitusten vakioimattomat olosuhteet verrattuna vakioitujen protokollien kuntotesteihin, voidaan todeta, että suorituskykyindeksi on hyvin toistettava vakioituna tässä tutkimuksessa käytössä olleilla menetelmillä.

Avainsanat: Toistettavuus, suorituskykyindeksi, Big data, syke, juoksunopeus, kuntotestit

## ABSTRACT

Marko Heikkinen (2015). The factors affecting the repeatability of performance index. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Master's thesis, 71 pp.

The purpose of this research was to investigate the repeatability of performance index during normal running exercise and the factors that have an effect on it. Performance index is based on heart rate, speed and altitude data measured during a run. Performance index is an estimate of theoretical maximal oxygen consumption and when regularly measured it reflects the performance level of the exerciser.

An internet-based exercise database of a certain company was used as the material in this study. The users of the database have regularly stored their running exercise. The database sample was selected based on certain requirements set for the wrist computer system and exercise. Minimum of 100 running exercises along with rest heart rate and maximal heart rate values were required to be stored in the service. Several physiological sample values were calculated of the sample. Consequently, they were later used in the data filtering and optimization. The sample was analysed using Matlab software.

The group average of the performance index variances calculated inside single exerciser (SI-varKa) was used as an indicator of the repeatability. The indicator was 26,3 before the conditions were standardized. Conditions were standardized by filtering out exercises that had divergent speed, altitude or intensity data. Five powerful filters were discovered and selected to the optimization through filter tests. Moreover, ten parameter values were determined for each filter for the optimization. The most powerful single factor affecting the repeatability was performance speed. The next powerful was the fluctuation of altitude followed by the intensity of the exercise and the variance of heart rate. The indicator of the performance index repeatability was decreased by 62% through optimization and it decreased altogether from 26,3 to 10,0.

There are numerous inner and outer factors affecting heart rate and performance speed, which are the basis for the performance index calculation. It is possible to derive only part of those factors from the exercise database. When taking into account the non-standard conditions compared with the standardized protocol fitness tests, it can be stated that performance index is very repeatable when it is filtered and optimized using the methods presented in this study.

Keywords: Repeatability, Performance Index, Big data, heart rate, performance speed, fitness tests

## KÄYTETYT LYHENTEET

ACSM	American College Of Sports Medicine
AerK	aerobinen kynnys
Ank	anaerobinen kynnys
ATP	adenosiinitrifosfaatti
BMI	body mass index, painoindeksi
Bpm	beats per minute, lyöntiä minuutissa
CV drifti	cardiovascular drift, kardiovaskulaarinen drifti
Hb	hemoglobiini
HIIT	high intensity interval training, korkeaintensiteettinen intervalliharjoittelu
HR	heart rate, syke
HRDP	heart rate deflection point, sykkeen poikkeamispiste
HRR	heart rate reserve, sykereservi
PCr	kreatiinifosfaatti
RER	respiratory exchange ratio, hengitysosamäärä
SIvarKa	suorituskykyindeksien varianssien keskiarvo
SV	stroke volume, sydämen iskutilavuus
VO <sub>2</sub> max	maksimaalinen hapenottokyky

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	1
2 AEROBINEN SUORITUSKYKY.....	2
2.1 Energiantuotto.....	3
2.1.1 Anaerobinen energiantuotto.....	4
2.1.2 Aerobinen energiantuotto.....	8
2.2 Perintötekijät.....	10
2.3 Aerobinen kestävyys.....	11
2.4 Maksimaalinen hapenottokyky.....	12
2.5 Taloudellisuus.....	13
2.6 Kestävyysharjoittelun vasteet.....	13
2.6.1 Kestävyysharjoittelun periaatteet.....	14
2.6.2 Sydän- ja verenkiertoelimistön adaptaatio.....	16
2.6.3 Lihasten adaptaatio.....	18
2.6.4 Energiantuotto kuormituksessa.....	19
3 AEROBISEN SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN.....	21
3.1 Suorat mittausmenetelmät.....	21
3.2 Epäsuorat mittausmenetelmät.....	23
3.3 Kenttätetit.....	25
3.4 Eri menetelmien luotettavuus ja tarkkuus.....	26
4 SYKKEEN JA JUOKSUNOPEUDEN VÄLINEN YHTEYS.....	29
4.1 Kuormituksen keston ja tehon vaikutus.....	29

4.2	Ulkoiset tekijät .....	32
4.2.1	Lämpötila .....	32
4.2.2	Korkea ilmanala .....	33
4.2.3	Korkeuserojen vaikutus.....	33
4.2.4	Ilmanvastus .....	35
4.2.5	Vaatetus ja juoksukengät .....	35
4.2.6	Juoksualusta .....	36
4.3	Sisäiset tekijät .....	36
4.3.1	Ravitsemustila.....	37
4.3.2	Nestetasapaino.....	37
4.3.3	Askelpituus ja -tiheys.....	38
4.3.4	Aerobisen suorituskyvyn vaihtelu ja harjoituskuorma.....	39
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS .....	41
6	MENETELMÄT .....	43
6.1	Aineiston kuvaus.....	43
6.2	Harjoitustietokantaotanta .....	44
6.3	Otannan esianalysointi .....	45
6.4	Suodatus ja optimointi .....	47
7	TULOKSET .....	49
7.1	Suodatintestien tulokset .....	49
7.2	Optimointiin valitut suodattimet .....	57
7.3	Suodatinparametrien valinta optimointiin.....	58
7.4	Optimoinnin tulokset.....	59
8	POHDINTA .....	61

9 LÄHTEET.....	65
----------------	----

# 1 JOHDANTO

Vaikka Big datalle ei olekaan olemassa vakiintunutta määritelmää, sillä tarkoitetaan yleisesti suurten, järjestelemättömien, kasvavien tietomassojen tallentamista, säilyttämistä, jakamista, etsimistä, analysointia sekä esittämistä tilastotieteen ja tietotekniikan menetelmin. Analysoimalla tietomassoja liiketoiminnan ja tuotekehityksen tarpeiden näkökulmasta on mahdollista ratkoa monimutkaisia haasteita ja luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Yritykset näkevät digitaalisen tiedon hyödyntämisen merkittävänä nosteenä muun muassa myynnille ja markkinoinnille. Teknisesti digitaaliset ratkaisut ovat jo periaatteessa kaikkien ulottuvilla, joten kehityksen esteenä ovat lähinnä valmiudet toimia. (Alanko & Salo 2013.)

Big datan hyödyntämisestä voidaan saada etuja ihmisille, yrityksille ja yhteiskunnalle. Ihmiset voivat käyttää big dataan pohjautuvia palautejärjestelmiä muun muassa liikunnan, ravinnon ja ajankäytön hallintaan. Seurantatyökalut auttavat ihmisiä oppimaan itsestään ja ympäristöstään ja muokkaamaan toimintaansa sen mukaisesti. Big datan hyödyntämisen myötä tiedon saatavuus paranee. Ihmiset voivat esimerkiksi ajantasaisesti tarkastella todellista ruokavaliotaan ja liikuntasuorituksiaan, saada siitä palautetta esimerkiksi henkilökohtaiselta valmentajaltaan ja asettaa näin uusia tavoitteita omassa arjessaan. (Poikola ym. 2014.)

Tässä tutkimuksessa tutkittiin suorituskykyindeksin toistettavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä analysoimalla internetpohjaista harjoitustietokantaa. Yleensä aerobista suorituskykyä testataan erilaisilla suorilla ja epäsuorilla mittausmenetelmillä. Nämä ovat kuitenkin usein hankalia toteuttaa johtuen esimerkiksi, testien järjestämisen hankaluudesta, kalliista laitteistoista ja testaushenkilökunnan tarpeesta. Suorituskykyindeksi puolestaan on protokollaton ja edullinen tapa arvioida maksimaalista aerobista suorituskykyä.



## 2 AEROBINEN SUORITUSKYKY

Aerobisen suorituskyvyn avulla ylläpidetään tiettyä fyysistä aktiviteettia tietyllä nopeudella ja teholla pidemmän ajanjakson ajan (Huber & Wells 2006, 214). Aerobiseen suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto, maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_2\text{max}$ ), suorituksen taloudellisuus, lihasten aineenvaihdunta ja hermoston toiminta.

Aerobisen suorituskyvyn mittaamisessa tutkitaan yleensä neljää päämuuttujaa:  $VO_2\text{max}$ , suorituksen taloudellisuus, laktaattikynnykset ja hapenottokinetiikka (Jones & Carter 2000). Kestävyyssuorituskykyyn vaikuttavat lisäksi monet muutkin tekijät  $VO_2\text{max}$ :in määrittellessä ylärajan aerobiselle energian tuotannolle (Bassett & Howley 2000; Bosquet ym. 2002).  $VO_2\text{max}$ :iin vaikuttavia tekijöitä ovat mm. koehenkilön ikä, sukupuoli, työtä tekevien lihasten määrä, testin kuormitusmalli, testin kuormituksen kesto ja koehenkilön harjoittelutausta. Kestävyysharjoittelu kehittää  $VO_2\text{max}$ :ia. Lajinomainen harjoittelu sen sijaan kehittää hapenottokykyä niissä lihaksissa, joita harjoiteltavassa lajissa käytetään. Esimerkiksi pyöräilijät saavuttavat näin ollen suuremman  $VO_2\text{max}$ -arvon pyöräillen suoritettussa testissä kuin juosten suoritettussa testissä. (Keskinen ym. 2007, 52-55.)

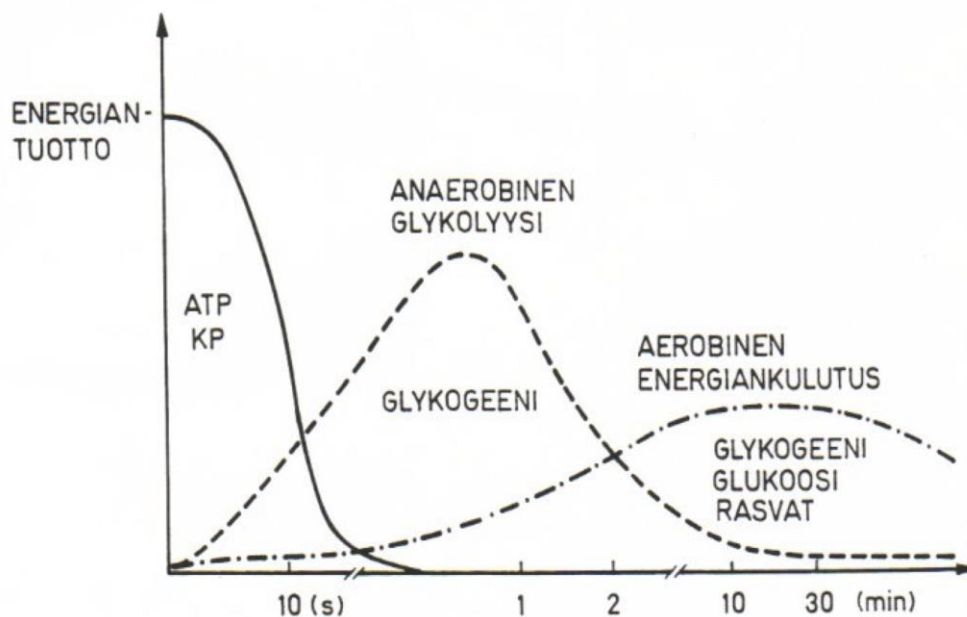
Kehon energiantuottomekanismit vaikuttavat aerobiseen suorituskykyyn. Harjoittelemalla energiantuottomekanismit adaptoituvat vastaamaan harjoittelua. Korkeaintensiteettinen harjoittelu kehittää hiilihydraattiaineenvaihduntaa, ja matalaintensiteettinen harjoittelu kehittää rasva-aineenvaihduntaa. (Brooks & Mercier 1994.) Ruokavalion valinnalla harjoituksen intensiteetille sopivaksi voidaan vaikuttaa urheilusuoritukseen. (Pizza ym. 1995).

Juoksun taloudellisuuteen vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät: ikä, segmenttien massan jakautuminen, askelpituus, biomekaaniset muuttujat, syke, harjoituksen teho, lämpötila, mieliala, harjoitustila ja väsymys (Keskinen ym. 2007, 55-57).

## 2.1 Energiantuotto

Kaikki energia on peräisin auringon valoenergiasta, josta kasvit saavat energiansa kasvuun. Ihminen saa energiansa käyttämällä ravinnokseen kasveja tai eläimiä. Ravintomme koostuu pääasiassa hiilestä, vedystä, hapesta ja typestä sekä hiilihydraateista, rasvoista ja proteiineista. Syödyn ravinnon molekyylien sidokset vapautetaan kemiallisesti soluissamme ja varastoidaan adenosiinitrifosfaattina (ATP). Levossa keho käyttää energianlähteinään tasapuolisesti hiilihydraatin ja rasvojen avulla tuotettua ATP:a. Proteiinit toimivat pääasiassa kehomme rakennusaineina. Niiden käyttö energian lähteiksi on vähäistä. (Wilmore & Costill 2004, 120-134.)

Energiantuotto kuormituksessa voidaan jakaa aerobiseen ja anaerobiseen kuvan 1 mukaisesti. ATP tuotetaan anaerobisessa energiantuotannossa välittömien energialähteiden ATP:n ja kreatiinifosfaatin (PCr) avulla sekä anaerobisessa glykolyysissä ilman happea. Aerobinen energiantuotanto tapahtuu hapen avulla aerobisessa glykolyysissä. (Campbell & Farrell 2006, 463-486.)

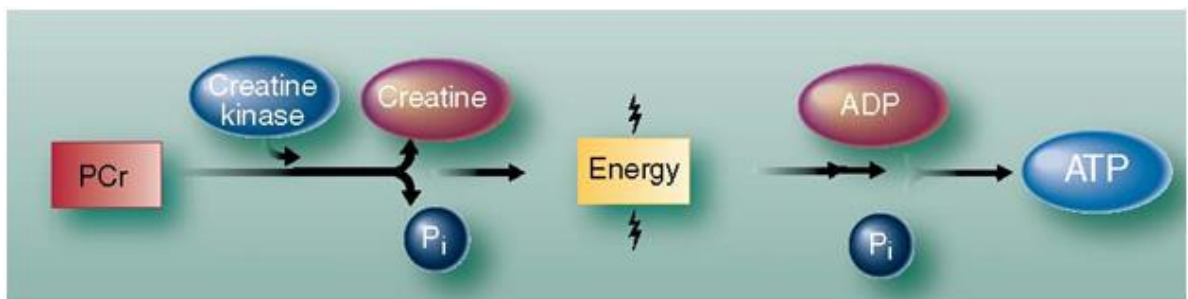


KUVA 1. Energialähteet kuormituksessa (Hakkarainen ym. 2009).

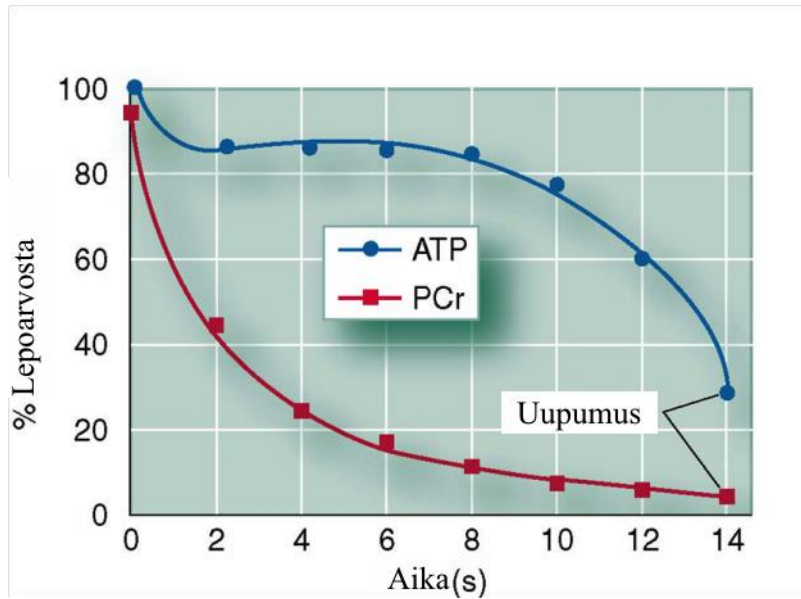
### 2.1.1 Anaerobinen energiantuotto

Yksinkertaisin energiantuottosysteemeistä on ATP-PCr-systeemi. ATP on runsasenerginen yhdiste, jota käytetään energian lyhytaikaiseen varastointiin ja siirtoon. ATP koostuu adenosiinista ja kolmen fosfaatin ryhmästä. Lukuisten kemiallisten reaktioiden jälkeen fosfaattiryhmä lisätään kuvan 2 mukaisessa fosforylaatioissa suhteellisen vähäenergisessä adenosiidifosfaattiin (ADP). (Campbell & Farrell 2006, 422-427.)

Lihaksissa nopeasti käyttöön saatavaa energiaa varastoidaan PCr:nä. Sitä ei käytetä suoraan lihastyöhön vaan ATP:n tuotantoon. PCr:stä vapautunut energia vapautetaan erottamalla fosfaatti kreatiinkin aasientsyymin avulla. Vapautunut energia voidaan käyttää ADP:n ja fosfaatin yhdistämiseen ATP:ksi. Kun energia vapautetaan ATP:stä erottamalla fosfaattiryhmä, keho välttää ATP:n loppumisen vähentämällä PCr:ää, jota käytetään edelleen ATP:n uudistuotantoon ADP:stä ja fosfaatista. PCr-varastot käytetään ATP:n tuottamiseen lähes kokonaan jo 3-15 sekunnin erittäin tehokkaassa urheilusuorituksessa. Urheilijan uupuessa sekä ATP että PCr tasot ovat melko alhaiset kuvan 3 mukaisesti. (Wilmore & Costill 2004, 118-133.)



KUVA 2. ATP-PCr-systeemi (Wilmore & Costill 2004, 123).

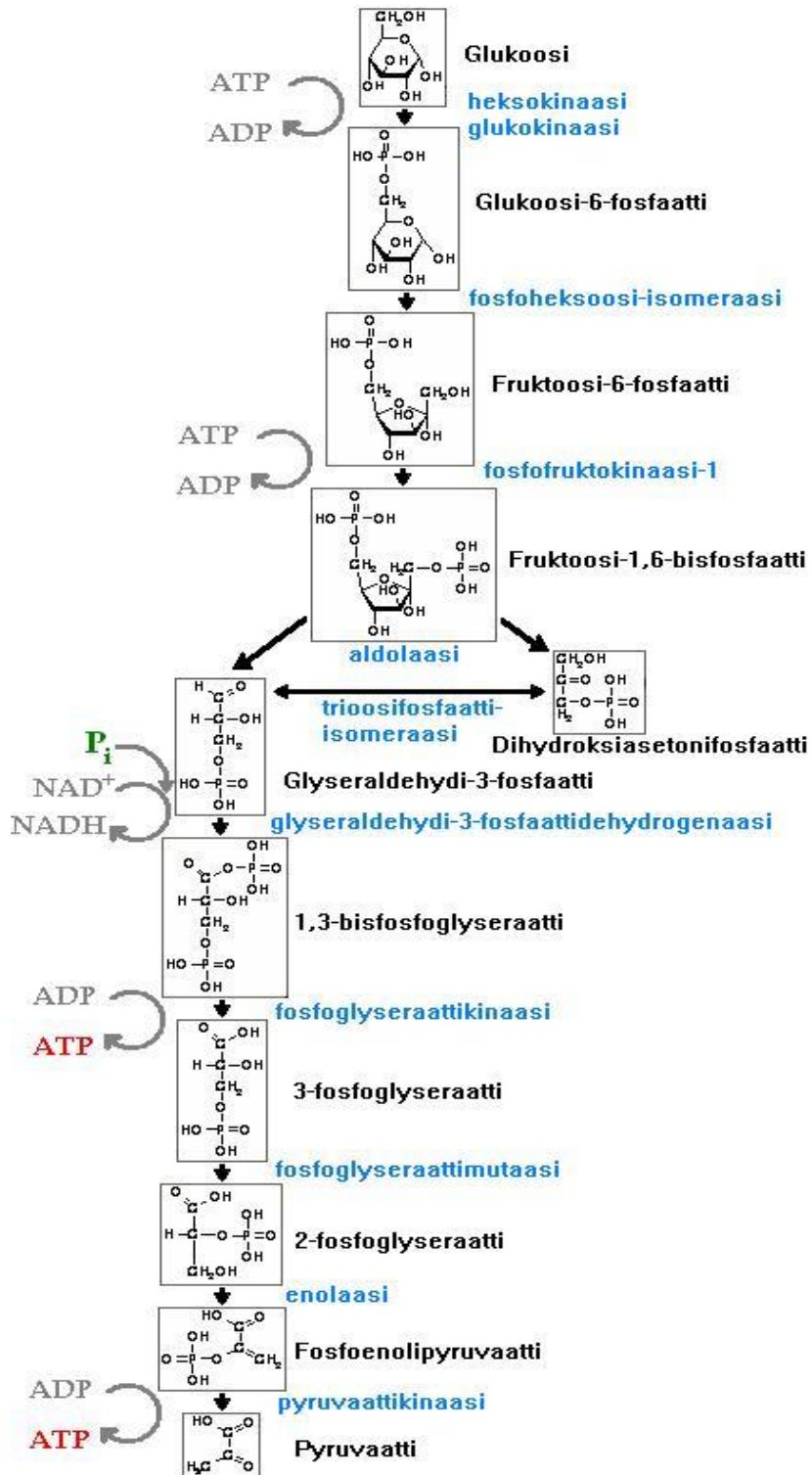


KUVA 3. Muutokset lihaksen ATP ja PCr -tasoissa 14 sekunnin maksimaalisen suorituksen aikana (Wilmore & Costill 2004, 124, mukailten).

Tehokkaan urheilu suorituksen jatkuessa PCr-varastojen ehtymisen jälkeenkin ATP:tä pitää edelleenkin muodostaa, nyt anaerobisen glykolyysin avulla, jossa glukoosi metaboloituu pyruvaatiksi. Veren glukoosi on peräisin ravinnon hiilihydraatista ja maksan glykogeenista, joka on rakennettu glukoosista glukogeneesi-prosessin avulla. Glykogeeni varastoidaan maksassa tai lihaksissa kunnes sitä tarvitaan, jolloin glykogeeni puretaan glukoosi-1-fosfaatiksi glukogenolyysi-prosessissa. (Campbell & Farrell 2006, 487-494.)

Kuvassa 4 esitelty glykolyysi on kymmenen entsyymikatalysoidun reaktion sarja, jossa glukoosimolekyylä pilkotaan kahdeksi pyruvaattimolekyyliksi ja 2 ADP-molekyylä fosforyloidaan kahdeksi ATP-molekyyliksi. Anaerobinen energiantuotanto ei tuota suuria määriä ATP:tä, mutta yhdessä ATP-PCr-systeemi ja anaerobinen glykolyysi ovat pääosissa korkeaintensiteettisen harjoituksen ensimmäisinä minuutteina. Sen mitä pyruvaatille tapahtuu jatkossa, ratkaisee hapen läsnäolo soluissa. Ilman happea pyruvaatti muunnetaan laktaatiksi,

mikä on anaerobisen energiantuotannon toinen rajoite. 1-2 minuutin kestoisissa maksimaalisissa urheilusuorituksissa glykolyttinen järjestelmä joutuu suureen kuormitukseen, jossa lihaslaktaattipitoisuus voi nousta dramaattisesti. Tämä happamoituminen rajoittaa glykolyysiä, koska se rajoittaa glykolyttisten entsyymien toimintaa. Lisäksi laktaatti vähentää lihassolujen supistumiskykyä. (Wilmore & Costill 2004, 122-132.) Kertynyt laktaatti voidaan hapettaa ja käyttää energian lähteenä tai siitä muodostetaan glukoosia (Keskinen ym. 2007, 51-71).



KUVA 4. Glykolyysi (Törrönen 2006).

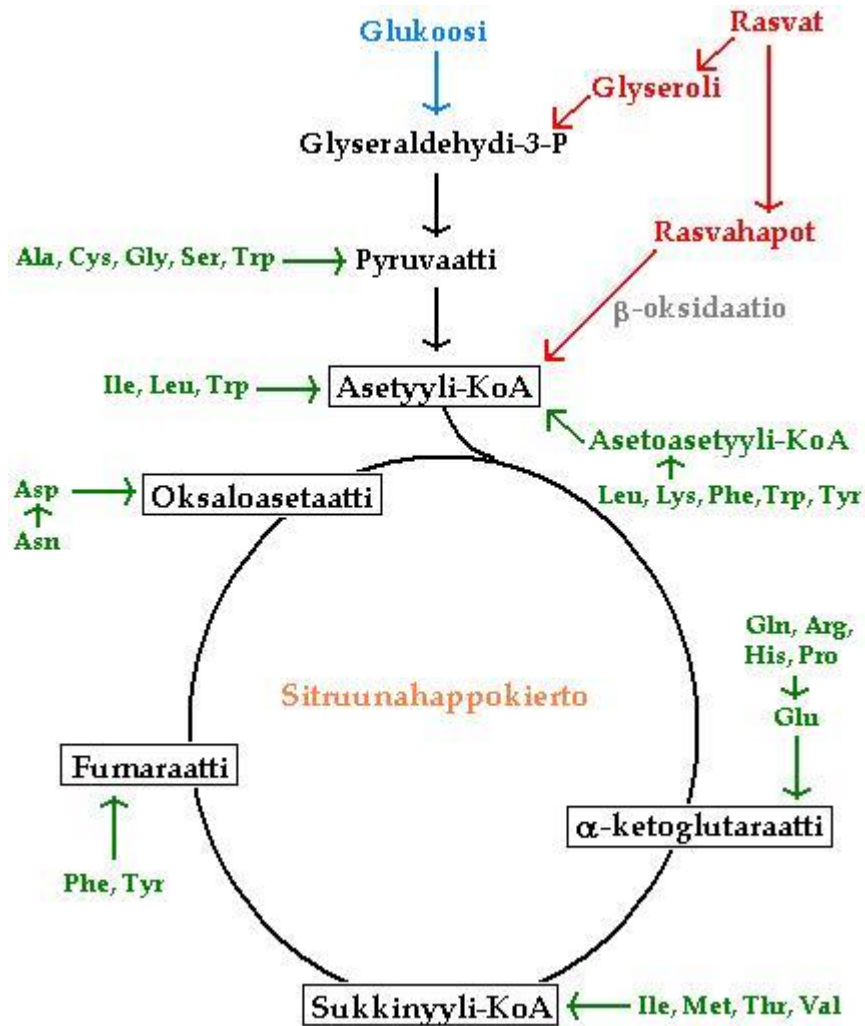
### **2.1.2 Aerobinen energiantuotto**

Prosessia, jossa ihmisen keho hajottaa energian lähteitään hapen avulla, kutsutaan soluhengitykseksi. Soluhengityksessä ATP tuotetaan hapen avulla solujen mitokondrioissa. (Wilmore & Costill 2004, 126-133.)

Lihakset tarvitsevat jatkuvasti uutta energiaa tuottaakseen pitkäkestoiseen suoritukseen tarvittavan voiman. Aerobinen energiantuottosysteemi on tehokkaampi kuin anaerobinen, joten se on kehon ensisijainen menetelmä tuottaa energiaa lihaksille pitkäkestoisten suoritusten aikana. Näin ollen kehon hapenottokyky ja kyky toimittaa sitä aktiivisille lihaksille nousevat merkittävään rooliin energiantuotannossa. (Wilmore & Costill 2004, 126-133.)

Aerobisessa ja anaerobisessa energiantuotannossa glykolyysi-vaihe on samanlainen. Hapellisissa olosuhteissa pyruvaatille tapahtuu oksidatiivinen dekarboksylaatio, ja siitä muodostuu asetyylikoentsyymi A:ta (Acetyl CoA). Acetyl CoA toimii substraattina myös Krebsin syklinä tunnetulle sitruunahappokierrolle, jossa se hajotetaan edelleen hiilidioksidiksi (CO<sub>2</sub>). Acetyl CoA toimii myös lähtöaineena rasvahappojen, ketoaineiden ja kolesterolin synteesille. (Campbell & Farrell 2006, 463-486, 511-536.)

Mitokondrioissa tapahtuvassa energiantuotannossa on sitruunahappokierron ohella kaksi muuta prosessia, elektroninsiirtoketju ja oksidatiivinen fosforylaatio, kuvan 5 mukaisesti (Campbell & Farrell 2006, 511-536).



KUVA 5. Sitruunahappokierto (Törrönen 2006).

Monivaiheisen ja monimutkaisen sitruunahappokiertoprosessin tuloksena CO<sub>2</sub>:ksi ja vedyksi hajotetusta energialähteestä saadaan muodostettua kaksi moolia ATP:tä (Wilmore & Costill 2004, 126-133).

Glykolyysissa ja sitruunahappokierrossa vapautunut vety yhdistyy nikotiinihappoamidiadeniinidinukleotidi (NAD) ja flaviini-adeniinidinukleotidi (FAD) -nimisten koentsyymien kanssa, jotka siirtävät vety-atomit elektroninsiirtoketjuun, jossa ne hajotetaan protoneiksi ja elektroneiksi. Ketjun lopussa vety yhdistyy hapen kanssa estäen happamoitumisen. Vedystä



vapautetut elektronit tarjoavat useiden reaktioiden jälkeen energian ADP:n fosforylaatioon ja lopulta ATP:n muodostamiseen, jota hapen läsnäolon ansiosta kutsutaan oksidatiiviseksi fosforylaatioksi. (Wilmore & Costill 2004, 126-133.)

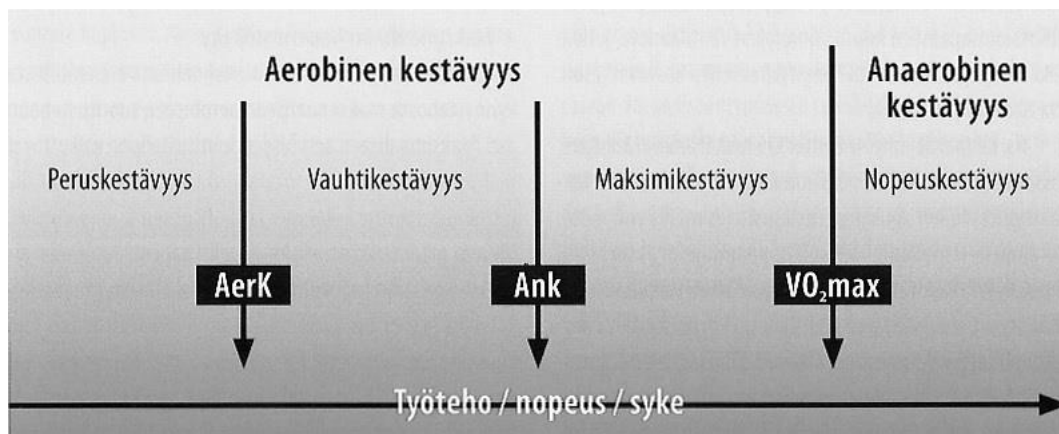
## 2.2 Perintötekijät

Perintötekijöillä on todettu olevan vaikutusta kestävyysharjoitteluvasteeseen. Tästä syystä osa ihmisistä kehittyi kestävyysharjoittelussa nopeammin kuin toiset, mikä saattaa osaltaan ohjata heitä urheilulajin valinnassa. Bouchard ym. (1999) tutkivat  $VO_2\text{max}$ :n perinnöllisyyttä. Koehenkilöinä toimivat 481 passiivista valkoihoista aikuista 98:sta kahden sukupolven perheestä, jotka harjoittelivat 20 viikon ajan. Heidät testattiin kahdesti ennen ja jälkeen harjoittelun.  $VO_2\text{max}$  kasvoi keskimäärin 400 ml/min. Vasteissa havaittiin kuitenkin merkitsevää hajontaa. Jotkut saavuttivat  $VO_2\text{max}$ :n nousua vain vähän tai ei ollenkaan toisten taas saavuttaessa jopa yli 1l/min parannuksen. Varianssianalyysin (Anova) perusteella perheiden välillä oli varianssia 2,5-kertaisesti verrattuna perheiden sisäiseen varianssiin. Arvioitu maksimaalinen perinnöllisyys  $VO_2\text{max}$ -vasteelle, jossa oli otettu huomioon ikä, sukupuoli ja periytyminen, oli 47%. Tuloksen perusteella tutkimusryhmä päätteli, että  $VO_2\text{max}$ :n harjoitteluvaste on voimakkaasti perinnöllinen. (Bouchard ym. 1999.)

Perussen ym. (2001) tutkimuksessa tutkittiin geneettisten tekijöiden vaikutusta submaksimaaliseen aerobiseen suorituskyykyyn. 483 koehenkilöä 99:stä eri valkoihoisesta perheestä suorittivat 20 viikkoa kestävyysharjoittelua. Ennen ja jälkeen harjoittelun mitattiin submaksimaalinen  $VO_2\text{max}$  kolmella erisuuruisella kuormalla polkupyöräergometri-testissä. Fenotyyppi määriteltiin iän, sukupuolen ja painon mukaan. Tuloksia ennen ja jälkeen harjoittelun leimasi voimakas perheyhteys. Suurin perinnöllisyys lähtökohtatilanteessa vaihteli 48%:n ja 74%:n välillä. Harjoitteluvasteen perusteella suurin perinnöllisyys harjoittelun jälkeen näyttäisi olevan 23-57%, jossa äidinpuoleinen perinnöllisyys oli merkitsevä. Tuloksien perusteella perinnöllisillä tekijöillä, varsinkin äidin puolelta, on merkittävä vaikutus passiivisten koehenkilöiden submaksimaaliseen suorituskyykyyn ja kestävyysharjoittelun vasteeseen. (Perusse ym. 2001.)

### 2.3 Aerobinen kestävyys

Aerobinen kestävyys voidaan luokitella tehotason mukaisesti peruskestävyyteen, vauhtikestävyyteen, maksimikestävyyteen. Anaerobisen kestävyuden kohdalla puhutaan nopeuskestävyydestä. Kestävyysalueiden rajoille on Suomessa määritelty kaksi erilaista kynnystä kuvan 6 mukaisesti. Perus- ja vauhtikestävyysalueen välistä rajaa kutsutaan aerobiseksi kynnykseksi (AerK) tai laktaattikynnykseksi. Laktaattikynnys määritellään yleensä siihen kohtaan, jossa veren laktaattipitoisuus kohoaa ensimmäisen kerran verrattuna laktaatin normaalipitoisuuteen. Kun suoritustehoa lisätään edelleen, vauhti- ja maksimikestävyysalueiden välistä rajaa kutsutaan anaerobiseksi kynnykseksi (Ank), jolloin myös laktaattipitoisuudessa tapahtuu toinen lineaarisuudesta poikkeava muutos suurempaan suuntaan. Kynnykset määritellään lihasten aineenvaihduntatuotteiden mittaamisella kuormituksen kasvaessa. Verestä mitataan laktaattipitoisuus, ja hengitysilmosta mitataan kaasujen pitoisuudet sekä tilavuus. Anaerobisen kynnyksen ja maksimaalisen aerobisen suoritustehon välistä aluetta kutsutaan maksimikestävyudeksi. (Keskinen ym. 2007, 51-57.)



KUVA 6. Kestävyysalueet ja kynnykset (Keskinen ym. 2007).

## 2.4 Maksimaalinen hapenottokyky

VO<sub>2</sub>max-arvo kertoo elimistön kyvystä kuljettaa ja käyttää happea maksimaalisessa fyysisessä kuormituksessa. Se voidaan ilmaista joko tilavuutena minuuttia kohden (l/min), tai kehon massa huomioon ottaen suhteellisenä arvona (ml/kg/min). Hapenkulutus kasvaa lineaarisesti raskuuden kasvaessa kunnes VO<sub>2</sub>max saavutetaan, jonka jälkeen VO<sub>2</sub>max ei enää kasva, vaikka raskuustasoa nostettaisiin. VO<sub>2</sub>max:ia mittaavassa suorituksessa käytetään suuria lihasryhmiä ja suoritusta jatketaan jatkuvasti kasvavassa kuormituksessa aina uupumukseen saakka. VO<sub>2</sub>max:iin vaikuttavat lihasten kyky käyttää happea energiantuotantoon sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea lihassoluihin. (Keskinen ym. 2007, 52-56.)

VO<sub>2</sub>max voidaan laskea sydämen minuuttitilavuuden sekä valtimon ja laskimon välisen happieron avulla. Yleensä VO<sub>2</sub>max määritetään hengitysilman tilavuuden ja hengityskaasupitoisuuksien avulla. VO<sub>2</sub>max saadaan määritettyä vähentämällä sisään hengitetyn hapen tilavuudesta ulos hengitetyn hapen tilavuus, jolloin saadaan selville kudoksiin imeytyneen hapen määrä. (Keskinen ym. 2007, 52-55.) Fickin kaavan mukaan VO<sub>2</sub> voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$VO_2 = HR * SV * \text{diff } aO_2 - vO_2$$

Kaavassa HR = syke, SV = iskutilavuus, diff aO<sub>2</sub> – vO<sub>2</sub> = valtimon ja laskimon välinen happiero. (Uth ym. 2004.)

Naisten VO<sub>2</sub>max on normaalisti 40-45% pienempi kuin miehillä johtuen miesten ja naisten kehon koko- ja koostumuseroista. Rasvattoman kehon painolla sukupuolten välinen ero pienenee olennaisesti ja loppuosa eroista selittyy miesten suuremmalla hemoglobiinipitoisuudella. Murrosiässä tyttöjen VO<sub>2</sub>max laskee olennaisesti johtuen kehon koostumuksen muutoksesta ja rasvaprosentin kasvusta. Noin 25 ikävuoden jälkeen VO<sub>2</sub>max laskee tasaisesti noin

1% vuodessa.  $VO_2\text{max}$ :iin vaikuttaa eniten työtä tekevien lihasten massan suuruus: mitä enemmän työskenteleviä lihaksia, sitä suurempi  $VO_2\text{max}$ . (Keskinen ym. 2007, 52-55.)

## 2.5 Taloudellisuus

Juoksun taloudellisuus voidaan määritellä energian tarpeeksi annetulla juoksunopeudella. Kehon massalla on vaikutusta juoksun taloudellisuuteen, joka määritetään mittaamalla hapenkulutus ja hengitysosamäärä (*engl. Respiratory Exchange Ratio, RER*). Hyvän taloudellisuuden omaavat juoksijat käyttävät samalla juoksunopeudella vähemmän energiaa ja siten myös vähemmän happea kuin heikon taloudellisuuden omaavat juoksijat. Taloudellisuuden ja kestävyysjuoksusuorituksen välillä on voimakas korrelaatio. Taloudellisuutta voidaankin pitää tarkempaan juoksusuorituksen ennakoarvointitapana kuin maksimaalista hapenottokykyä kokeneilla juoksijoilla, joilla on lähes sama  $VO_2\text{max}$ . (Saunders ym. 2004.) Myös Conleyn ja Crahenbuhlin (1980) tutkimuksessa tutkittiin juoksun taloudellisuuden ja kestävyysjuoksusuorituksen välistä yhteyttä. Koehenkilöinä olivat kokeneet ja hyvin harjoitelleet kestävyysurheilijat. Hapenkulutus ja  $VO_2\text{max}$  mitattiin juoksumatolla suoralla menetelmällä. Juoksusuorituksen vaihtelusta 65,4% voitiin selittää juoksun taloudellisuudella. Tutkijat päättelivät, että toisiinsa verrattavissa olevilla kokeneilla kestävyysurheilijoilla juoksun taloudellisuus näyttelee suurta roolia 10km juoksun suorituksen vaihtelussa. (Conley & Krahenbuhl 1980.)

Juoksun taloudellisuus mitataan yleensä juoksemalla juoksumatolla laboratorio-olosuhteissa. Virhelähteiden poissulkeminen testin aikana parantaa oleellisesti testin luotettavuutta. Vakioiduissa olosuhteissa taloudellisuustestillä kyetään jäljittämään suhteellisen pienetkin muutokset harjoittelussa. (Morgan ym. 1989.)

## 2.6 Kestävyysharjoittelun vasteet

Tutkittaessa kehon reagointia yksittäiseen harjoitukseen ollaan tekemisissä harjoittelun akuuttien vasteiden kanssa. Kroonisista vasteista puhutaan puolestaan silloin, kun tutkitaan

jatkuvan harjoittelun vaikutuksia. Kun harjoittelua suoritetaan säännöllisesti tietyn aikavälin ajan, keho mukautuu eli adaptoituu harjoitteluun. Krooniset vasteet ovat hyvin spesifejä kunkin tyyppiselle harjoittelulle. Kroonisten vasteiden tutkiminen on kyseessä esimerkiksi silloin, kun seurataan esim. kuuden kuukauden harjoittelun vaikutusta verenkiertoelimistöön. (Wilmore & Costill 2004, 184-196, 270-298.)

### **2.6.1 Kestävyysharjoittelun periaatteet**

Aerobisen juoksuharjoittelun tavoitteena on stimuloida toiminnallisia ja rakenteellisia muutoksia parantamaan suorituskykyä. Jonesin ja Carterin (2000) tutkimuksessa kestävyysharjoittelu määriteltiin 5-240 min mittaiseksi 60-100%:n  $VO_2max$ -alueella suoritetuksi harjoitukseksi (Jones & Carter 2000). Piercen (1990) mukaan parhaat harjoitusvasteet saadaan suhteellisen korkealla harjoitteluteholla (80-100%  $VO_2max$ ) (Pierce ym. 1990). Harjoittelun suunnittelussa on otettava huomioon useita tekijöitä, jolloin mm. harjoituskerrat, harjoitusten kestot, harjoitusten tyypit, nopeudet, tehot, määrät, palautukset ja kilpailut vaikuttavat kaikki toisiinsa muodostaen kokonaisuuden (McArdle ym. 2007, 445-485).

Progressiivisen ylikuormitusperiaatteen mukaan harjoittelun pitää nimensä mukaisesti olla ylikuormittavaa ja progressiivista. Kestävyysharjoittelun yhteydessä tämä tarkoittaa harjoitteluvolyymien (teho ja kesto) progressiivista kasvattamista. Yksilöiden välillä on eroja, jolloin samat harjoittelumenetelmät eivät sovi kaikille. Yksilöllisyysperiaatteen mukaan harjoittelijoiden lähtötasot tai vaste harjoitteluun voivat olla erilaiset. Myös perimällä on merkitystä siihen, miten harjoittelu suunnitellaan yksilöllisesti. Käänteisperiaatteen mukaan harjoitustauko aiheuttaa harjoittelulla saavutettujen tulosten asteittaisen häviämisen. Jo 1-3 viikon harjoittelutauko laskee kapasiteettia. Kestävyyttä harjoitelleilla koehenkilöillä  $VO_2max$  laski kolmessa viikossa 8%:a ja 12 viikossa 18%:a. (McArdle ym. 2007, 445-485.)

Lajinomaisuusperiaatteen mukaan harjoitteluadaptaatiot ovat harjoittelun määrän, tehon ja harjoittelutyypin mukaisia. Harjoitteluohjelman tulisi kuormittaa niitä fysiologisia järjestelmiä, jotka ovat pääroolissa optimaalisen suorituksen kannalta harjoiteltavassa urheilulajissa.

Esimerkiksi haluttaessa kehittää räjähtävää voimaa, harjoittelussa painotetaan tietyn tyyppistä voimaharjoittelua pitkän matkan juoksun sijaan. Kovan ja helpon harjoituksen periaatteen mukaan kovaa harjoitusta pitää seurata helpompi harjoittelujakso, jotta keho ehtii palautua kovasta harjoituksesta ennen seuraavaa kovaa harjoitusta. Esimerkiksi kestävyysjuoksijoiden kovaa intervalliharjoitusta voi seurata seuraavana päivänä palauttava hidaskävelu, jolla saadaan keho valmisteltua seuraavan päivän kovaan harjoitukseen. (Wilmore & Costill 2004, 194-196.)

Harjoittelun jaksotusperiaatteen mukaan harjoittelun määrä ja teho vaihtelee yleensä vuoden mittaisissa sykleissä, jotka jaetaan yleensä kahteen tai useampaan alisykliin, ajoitettuna kilpailuiden mukaisesti. Päämääränä on saada paras suorituskyky omassa urheilulajissa osuun kilpailuiden ajankohtaan. (Wilmore & Costill 2004, 194-196.) Carterin ym. (1999) tutkimuksessa 16 koehenkilöä osallistui kuusi viikkoa kestävään kestävyysharjoitteluun kahdeksan koehenkilön toimiessa harjoittelemattomana verrokkiryhmänä. Harjoitusohjelma muodostui alussa kolme kertaa viikossa ja lopussa viisi kertaa viikossa toistuvista 20-30 minuutin mittaisista intervalliharjoituksista. Ennen ja jälkeen interventiota kaikilta koehenkilöiltä mitattiin VO<sub>2</sub>max ja laktaattikynnykset. Kahdeksalle harjoittelijalle määriteltiin myös Ank-juoksunopeus. Kontrolliryhmän tuloksissa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia. Harjoittelijoiden ryhmässä havaittiin merkitsevää kasvua VO<sub>2</sub>max-arvossa ja juoksunopeuksissa. Ainoastaan juoksunopeus laktaatin alimmalla arvolla ei muuttunut merkitsevästi. (Carter ym. 1999.)

Kestävyysurheilijan harjoittellessa järjestelmällisesti samalla intensiteetillä riittävän pitkän aikaa harjoittelusta tulee tapa, jossa sama kaava toistuu. Tällöin kehitys pysähtyy, vaikka harjoitusmääriä lisättäisiinkin. Pitkään harjoitelleilla kestävyys suorituskyvyn jatkuva kehittäminen ja fysiologinen adaptaatio vaatii harjoittelumäärän lisäämisen lisäksi myös tehokkaampaa harjoittelua. (Londeree 1997.) Submaksimaalisen kestävyys harjoittelun vastapainona käytetään korkeatehoista intervalliharjoittelua (*engl. High-Intensity Interval Training, HIIT*). HIIT:ssä toistetaan lyhyitä tai keskipitkiä suorituksia, intervalleja, joiden teho on Ank:n yläpuolella, maksimikestävyys- ja nopeuskestävyysalueilla. Intervallien välissä pidetään lyhyt

matalatehoinen palautumisjakso, jonka aikana urheilija ehtii palautua osittain. HIIT:in tarkoituksena on toistuvasti kuormittaa kestävyysharjoittelun aikana käytössä olevia kehon fysiologisia järjestelmiä enemmän kuin mitä itse varsinaisen suorituksen aikana on tarpeen. (Laurson & Jenkins 2002.)

Lukuisien tutkimusten mukaan HIIT parantaa aerobista suorituskykyä. Helgerud ym. (2007) osoittivat, että HIIT parantaa sydämen iskutilavuutta 10%:a enemmän kuin perinteinen pitkäkestoinen kestävyysharjoittelu. Toisen tutkimuksen mukaan HIIT harjoittelu lisäsi sydämen vasemman kammion massaa 12%:a ja sydämen supistumiskykyä 13%:a enemmän kuin mitä perinteisellä kestävyysharjoittelulla saavutettiin (Slordahl ym. 2004). Näiden tutkimusten osoittamat adaptaatiot sydän- ja verisuonielimistöissä parantavat kehon VO<sub>2</sub>max:ia. Intervalliharjoittelussa sydämen syke siis vaihtelee intervallien mukaan, jolloin sykkeessä on vähän tasaista steady-state-vaihetta.

## **2.6.2 Sydän- ja verenkiertoelimistön adaptaatio**

Sydän- ja verenkiertoelimistö sekä hengityselimistö adaptoituvat kestävyysharjoitteluun. Hapenkuljetusjärjestelmän tehtävänä on toimittaa kehon aktiivisille kudoksille niiden tarvitsema happi. Sydämen minuuttitulavuus (iskutilavuus \* syke) määrittää sen, kuinka paljon happirikasta verta kulkee sydämen kautta minuutissa. Kuormituksessa kudosten tarvitsema hapen määrä lisääntyy ja kestävyys suorituskyky määräytyy osittain sen mukaisesti, kuinka paljon happea hapenkuljetusjärjestelmä kykenee aktiivisille kudoksille toimittamaan. (Wilmore & Costill 2004, 174-187.)

Sydämen koon kasvu on jo pitkään tunnettu adaptaatio kestävyysharjoittelussa. Jo vuonna 1899 Henschen raportoi ensimmäistä kertaa murtomaahiihtäjien laajentuneesta ja paksuuntuneesta sydäimestä. Hän tulkitsi löydöksensä säännöllisestä kestävyysharjoittelusta seuraaviksi rakenteellisiksi ja toiminnallisiksi muutoksiksi. Tämän jälkeen lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet nämä tutkimustulokset oikeiksi. (Urhausen & Kindermann 1999.) Sydämen kam-

mioista erityisesti vasen kammio adaptoituu eniten. Se on sydämen osista eniten työskentelevä. Sydämen kehittyminen on riippuvainen harjoitettavasta aktiviteetista. Kestävyystyypissä harjoittelussa vasemman kammion täyttyminen tehostuu, mikä johtuu suurelta osin harjoittelusta seuraavasta plasmatilavuuden kasvusta, joka lisää vasemman kammion diastolista volyymia. Sykkeen lasku levossa ja harjoituksen aikana samalla submaksimaalisella työmäärällä mahdollistaa pidemmän diastolisen sydämen täyttymisjakson. Kasvanut plasman määrä ja diastolinen täyttymisjakso kasvattavat vasemman kammion tilavuutta diastolisen jakson loppupuolella. (Ehsani ym. 1991.) Pitkään luultiin, että vasemman kammion kasvu on ainut kestävyysharjoittelusta seuraava muutos sydämessä, mutta myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet, että myös kammion seinämä paksuuntuu, vaikka tämä adaptaatio oli aiemmin liitetty vain voimaharjoitteluun ( Ehsani ym. 1991; Fagard 1996).

Sydämen iskutilavuus kasvaa kestävyysharjoittelulla sekä submaksimaalisesti että maksimaalisesti harjoiteltaessa. Iskutilavuuksia eri ihmisten välillä vertailtaessa on kuitenkin muistettava, että ihmisen koko vaikuttaa myös olennaisesti sydämen iskutilavuuteen. (Wilmore & Costill 2004, 174-187.) Ehsanin ym. (1991) tutkimuksessa tutkittiin vasemman kammion systolista toimintaa. Koehenkilöinä oli 10 tervettä iäkästä inaktiivista miestä, jotka harjoittelivat kestävyyttä progressiivisesti noin neljänä päivänä viikossa lähes vuoden ajan. Koehenkilöiltä mitattiin systolessa poistuneen verimäärän osuus diastolen lopussa sydänkammiossa olleesta verestä (ejektiofraktio) ennen harjoitusjaksoa ja harjoitusjakson jälkeen. Ejektiofraktiossa havaittiin merkitsevä kasvu. (Ehsani ym. 1991.)

Leposyke voi laskea huomattavasti kestävyysharjoittelun seurauksena. Yksi selitys tälle ilmiölle on se, että harjoittelun seurauksena parasympaattinen aktiivisuus kasvaa samalla, kun sympaattinen aktiivisuus laskee. Myös submaksimaalisen kuormituksen aikainen syke laskee kestävyysharjoittelun seurauksena. Maksimaalisen kuormituksen aikainen syke joko laskee hieman tai pysyy samana harjoittelun jälkeen. Harjoittelusta seuraavan sykkeen palautumisaika lyhenee kestävyysharjoittelun seurauksena. Tämän ilmiön avulla voidaan seurata kunnan kehittymistä, vaikkakaan se ei ole kelvollinen vertailuarvo eri ihmisten välillä. (Wilmore & Costill 2004, 274-287.)



Kestävyysharjoittelusta seuraava vasemman kammion tilavuuden kasvu ja täyttymistehokkuus yhdessä maksimaalisen suorituksen aikaisen vähäisen sykkeen laskun kanssa johtaa suoraan sydämen minuuttitilavuuden kasvuun. Maksimaalisen suorituksen aikaiseen valtimo-laskimohappieron kasvuun vaikuttaa myös sisäelinten vähentynyt verenkierto, lihasten verenkierron parantuminen ja lihassolutason muutokset. (McArdle ym. 2007, 445-485.)

Eräs tärkeimmistä kestävyysharjoittelun adaptaatioista on hiusverisuoniston (kapillaari) kehittyminen (määrä, poikkipinta-ala) kuormituksen alaisissa lihaksissa. Kehittynyt hiusverisuonisto kasvattaa lihaksen kapasiteettia kaasujen, lämmön, kuona-aineiden ja ravintoaineiden vaihdossa verestä aktiiviseen lihakseen. Tämä adaptaatio on keskeisessä roolissa VO<sub>2</sub>max:in kasvussa harjoittelun seurauksena. (Wilmore & Costill 2004, 184-190.) Hermansenin ja Wachtlovan (1971) tutkimuksessa tutkittiin lihaksen kapillaaritiheyttä quadriceps femoris -lihaksessa lihasbiopsian avulla. Tutkimukseen osallistui 15 nuorta miestä, joista seitsemän oli hyvin harjoitelleita ja kahdeksan harjoittelematonta. Kapillaarien määrä neliömillimetriä kohden ei ollut merkitsevä, mutta lihassolujen koko oli merkitsevästi suurempi harjoitelleilla, joten kapillaarien määrä lihassolua kohden oli myös suurempi harjoitelleilla. (Hermansen & Wachtlova 1971.)

### **2.6.3 Lihasten adaptaatio**

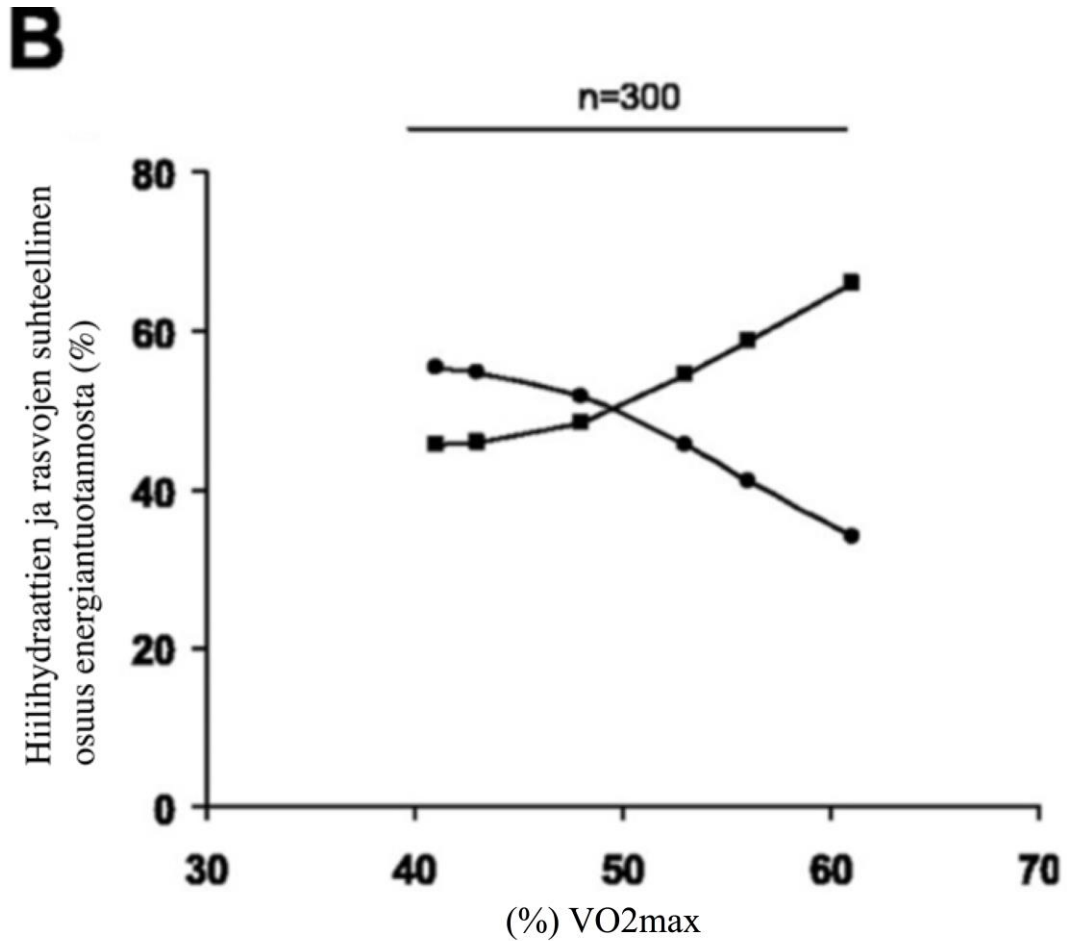
Gollnick ym. (1972) tutkivat entsyymiaktiiviteettiä ja lihassolujakaumaa 74:llä kestävyysharjoitelleella ja harjoittelemattomalla miehellä. Koehenkilöiltä mitattiin sukkiinaattidehydrogenaasi (SDH), fosfofruktokinaasi (PFK), oksidatiivinen aktiivisuus ja lihassolutyyppi lihasbiopsian avulla vastus lateralis ja deltoid-lihaksista. SDH-aktiivisuus oli korkeinta niissä lihasryhmissä, jotka olivat suurimman kuormituksen alaisena kestävyysharjoittelussa. Korkeimmat pitoisuudet mitattiin niissä lihaksissa, jotka suorittivat jatkuvasti kestävyystyypistä työtä. PFK-pitoisuuksissa mitattiin vain pieniä eroja. Lihassolutyypeistä tunnistettiin nopeat (*engl. Fast twitch, FT*) ja hitaat (*engl. Slow twitch, ST*). Tulosten perusteella kestävyysharjoitelleilla miehillä enemmistö lihassoluista oli ST-tyyppisiä. Oksidatiivinen aktiivisuus oli suu-

rempaa harjoitelleilla miehillä molempien lihassolutyyppien osalta. (Gollnick ym. 1972.) Tämän perusteella kestävyysharjoittelu kasvattaa entsyymiaktiivisuutta ja kasvattaa ST-lihassoluja.

Kestävyysharjoittelu kasvattaa myös lihasmassaa. Konopkan ym. (2014) review-artikkelin mukaan lukuiset alkuperäistutkimukset osoittavat, että luurankolihasien molekyyliääntely ja proteiinimetabolia johtavat lihassäikeiden ja koko lihaksen koon kasvuun aerobisen harjoittelun seurauksena. (Konopka & Harber 2014.)

#### **2.6.4 Energiantuotto kuormituksessa**

Pitkäkestoisessa submaksimaalisessa kuormituksessa rasva-aineenvaihdunta kehittyy ja sympaattisen hermoston vaste harjoittelun aiheuttamaan stressiärsykkeeseen pienenee. Suoritus-  
tehon kasvaessa rekrytoidaan myös nopeita lihassoluja, mikä lisää sympaattisen hermoston aktiivisuutta sekä lisää hiilihydraattien käyttöä energianlähteenä. Näin substraattien käyttö on aina riippuvainen harjoituksen tehon ja keston aikaansaamista vasteista kuvan 7 mukaisesti. (Brooks & Mercier 1994.)



KUVA 7. Substraattien suhteellinen käyttö VO<sub>2</sub>max:in kasvaessa. ■= hiilihydraatit, ●=rasvat (Brooks & Mercier 1994, mukailten).

Kiensin (1997) mukaan pitkäkestoisen submaksimaalisen polvenojennusharjoituksen aikana rasvahappojen hapetus on 60%:a suurempaa harjoitelleilla kuin harjoittelemattomilla koehenkilöillä. Harjoittelusta seurannut suurempi rasvahappojen hyväksikäyttö voitiin osoittaa tapahtuvan rasvahappo-oksidaatioprosessin useissa vaiheissa aina rasvakudoksesta mitokondrioon saakka. (Kiens 1997.) Näin ollen rasvojen käyttö tehostuu submaksimaalisessa kuormituksessa.

### **3 AEROBISEN SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN**

VO<sub>2</sub>max:in määrittämiseen on kehitetty useita eri menetelmiä, jotka voivat perustua muun muassa maksimaaliseen tai submaksimaaliseen kuormitukseen. Maksimaalisessa hapenotto-kykytestissä testattava jatkaa testin suorittamista progressiivisesti kasvavaa kuormaa vastaan uupumukseen saakka. Submaksimaalista hapenotto-kykytestiä ei viedä uupumukseen saakka, vaan testi lopetetaan ennen sitä. Riittävän usean kuorman jälkeen lineaarisuus sykkeen ja hapenkulutuksen välillä voidaan päätellä myös maksimaalisella alueella. Kuntotestaus voidaan suorittaa käyttämällä erilaisia kuormitusvälineitä, joista yleisimmät ovat juoksumatto, polkupyöräergometri (pp-ergo) ja soutuergometri. (Keskinen ym. 2007, 59-104.)

Kuntotestausta voidaan suorittaa myös erilaisin kenttätestein, jotka suoritetaan pääasiassa kävellen, juosten tai askeltaen. Askeltamistestit perustuvat esimerkiksi tietyn korkuiselle penkille nousemiseen, jossa hapenkulutusta arvioidaan laskukaavalla. Laskukaava perustuu tiettyyn määrään penkille nousuja minuutissa, tietyn korkuisen penkin ollessa käytössä. (Whaley ym. 2006.) Maksimaalinen hapenotto-kyky voidaan arvioida myös ilman testaamista ns. Non-Exercise-menetelmällä, jossa VO<sub>2</sub>max lasketaan koehenkilön täyttämän kyselykaavakkeen pisteiden perusteella (Jackson ym. 1990).

#### **3.1 Suorat mittausmenetelmät**

Maksimaalisen hapenotto-kyvyn suorassa mittauksessa käytetään hengityskaasuanalysointilaitetta, jonka avulla testattavan hengittämästä ilmasta mitataan happipitoisuus sekä sisään hengitettäessä että ulos hengitettäessä. Elimistön hapenkulutus lasketaan vähentämällä sisäänhengitysilmän hapen tilavuudesta ulos hengitetyn hapen tilavuus, mikä kertoo kuinka paljon sisään hengitetystä hapesta jää kudoksien käyttöön. (Whaley ym. 2006; Keskinen ym. 2007, 60-64.)

Urheilijoita testattaessa käytetään yleensä suoria mittausmenetelmiä, koska päämääränä on päästä mahdollisimman tarkkaan lopputulokseen. Myös testin lajinomaisuus vaikuttaa siihen kuinka luotettava tulos on. Laitteiston pitää olla ehdottoman hyvin kalibroitu. Jos maksimaalinen hapenottokyky kehittyy urheilijoilla vain 1-3% vuodessa, virheisiin ei ole varaa. Testin turvallisuuden takaamiseksi ja vakioimiseksi testissä noudatetaan vakioitunutta protokollaa. Testattavalle pitää selvittää testin tarkoitus. Harjoittelun pitäisi olla kevyttä kaksi päivää ennen testiä ja suuria muutoksia unen ja ravinnon määrässä pitäisi myös välttää. Testiin tulee aina liittää keskustelu harjoittelusta ja muista testitulokseen vaikuttavista tekijöistä testattavan kanssa, jotta testin tuloksia tulkittaessa tehtäisiin oikeat johtopäätökset. (Keskinen ym. 2007, 64-78.)

Yleisimmin suora testi suoritetaan juoksumatolla tai polkupyöräergometrillä. Juoksumattoa käytettäessä testattavalle laitetaan aina turvavaljaat, jotta kaatumistapauksissa välttyttäisiin loukkaantumisilta. Testin aikana syke mitataan sykemittarilla tai EKG-laitteella. Kuorma voi kestää esimerkiksi kolme minuuttia sisältäen laktaattinäytteen ottoajan. Testiprotokollia on olemassa useita, mutta tämä protokolla on yleinen Suomessa varsinkin urheilijoita testattaessa. Yleensä sormenpääverinäyte laktaattia varten otetaan levossa sekä jokaisen kuorman jälkeen, minkä ajaksi juoksumatto pysäytetään. (Keskinen ym. 2007, 64-66.)

Teoreettisen hapenkulutuksen vertailutasot perustuvat tutkimustuloksiin, ja niiden laskemiseen on olemassa useita kaavoja, jotka perustuvat joko juoksunopeuden lisäämiseen tai nopeuden ja kulman lisäämiseen. Eri kaavat antavat eri tuloksen, joten testituloksissa pitää ilmoittaa millä kaavalla tuloksiin on päästy. Vain juoksunopeutta lisäävässä ”nopeusmallissa” kuormitusta lisätään kasvattamalla juoksumaton nopeutta. Nopeuden ja kulman nostoon perustuvassa ”mäkimallissa” kuormitusta lisätään aerobiseen kynnykseen saakka nopeutta lisäämällä, ja siitä eteenpäin juoksumaton kulmaa lisäämällä. Suora maksimaalinen hapenottokykytesti voidaan lopettaa, kun  $VO_2$  saavuttaa tasannevaiheen tai alkaa laskea tai kun syke saavuttaa testihenkilön maksimisyykkeen. Testi lopetetaan myös RER-arvon saavuttaessa arvon 1,0-1,1 tai jos laktaattiarvo on riittävän korkea testattavasta riippuen. Myös testattavan tuntiensa saavuttaneensa maksiminsa testi on syytä lopettaa. (Keskinen ym. 2007, 64-68.)

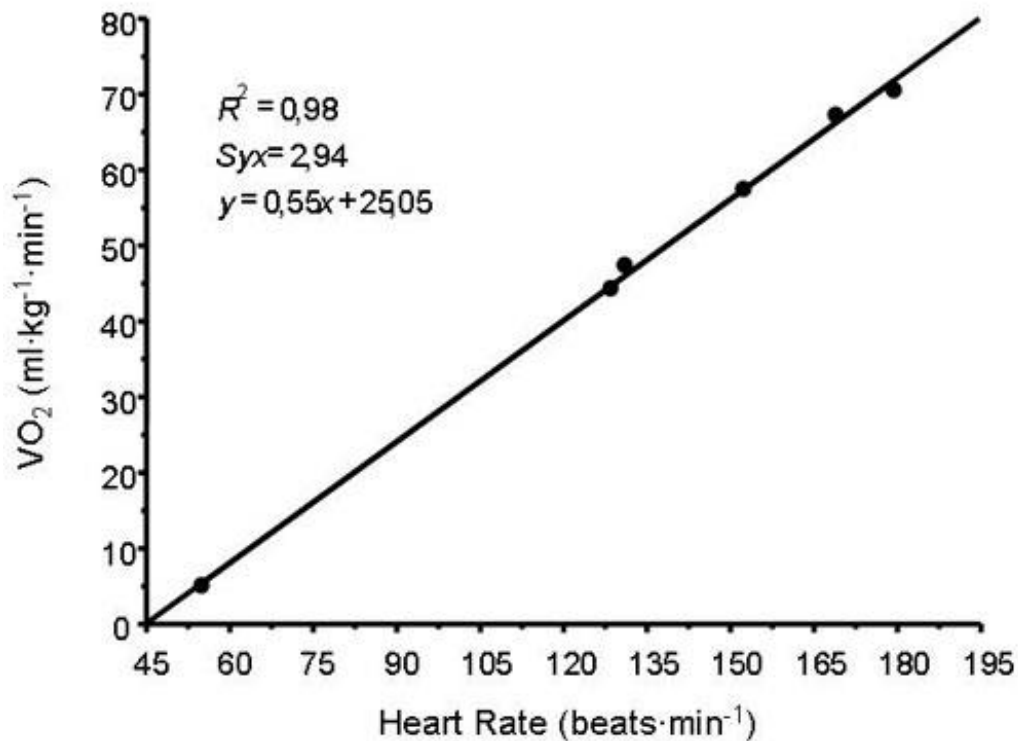
## 3.2 Epäsuorat mittausmenetelmät

Muiden kuin urheilijoiden testaamisessa mittatarkkuus ei näyttele yhtä keskeistä roolia, jolloin epäsuorat testimenetelmät  $VO_2\text{max}$ :in mittaamisessa soveltuvat hyvin. Suoran menetelmän haittapuolina ovat myös kalliit laitteet ja laboratorio-olosuhteet sekä erikoiskoulutetun henkilökunnan tarve. Suora testi voidaan myös kokea epämiellyttävänä, varsinkin jos testattava on tottumaton siihen. Submaksimaaliseen kuormitukseen perustuvat epäsuorat hapenottoyvyn testit ovat puolestaan kustannuksiltaan edullisia ja myös turvallisia, ja ne voidaan suorittaa suorien testien tapaan juoksumatolla tai polkupyöraergometrilla. (Keskinen ym. 2007, 78-117.)

Sykkeen ja hapenkulutuksen välinen suhde on lähes lineaarinen submaksimaalisilla sykkeillä kuvan 8 mukaisesti (Lange Andersen ym. 1971, 77). Lineaarisen käyrän perusteella päätellään maksimisyke ja maksimaalinen hapenottokyky. Sykkeen päivittäinen vaihtelu matalalla kuormituksella on noin 8%, mutta kuormituksen kasvaessa sykkeen vaihtelu pienenee. Matalilla kuormitustasoilla ilmenevä syketaajuuden suuri vaihtelu johtuu parasympaattisen hermoston kautta muun muassa nestetasapainosta, ympäristötekijöistä ja jännityksestä. (Keskinen ym. 2007, 78-117.) Mitä suuremmaksi kuormitus kasvaa, sitä pienemmäksi parasympaattisen hermoston sykettä ohjaava vaikutus käy ja häviää kokonaan noin 65% tasolla maksimisykkeestä, minkä jälkeen syketaajuuden muutoksia ohjaa pääasiassa sympaattinen hermosto (Tulppo ym. 1996).

Iän perusteella oletettua maksimisykettä käytetään submaksimaalisten testien kuormien määrittämiseen. Usein yksilötasolla syke-ennuste on epäluotettava, vaikkakin väestötasolla määrittely on riittävän tarkka (Whaley ym. 1992). Yleisesti käytetty kaava ikään perustuvan maksimisykkeen määrittämiseksi on ACSM:n:  $220 - \text{ikä}$ . Kaavan keskivirhe on jopa +/- 15 sykettä (Tanaka ym. 2001). Tanakan ym. (2001) tutkimuksen mukaan ACSM:n kaava aliarvioi selvästi iäkkäämpien henkilöiden maksimisykettä. Tutkimuksessa totuudenmukaisin arvio ikään perustuvasta maksimisykkeestä saatiin kaavalla:  $HR_{\text{max}} = 208 - (0,7 * \text{ikä})$  (Tanaka ym. 2001.) Luotettavampi tulos testistä saadaan, jos käytettävissä on maksimisyke, joka on

mitattu esimerkiksi sykemittarilla tai EKG-laitteella. (Keskinen ym. 2007, 78-79.) Syke ja maksimaalinen hapenotto kyky eivät kuitenkaan aina kasva lineaarisesti kuormituksen kasvaessa. Joidenkin koehenkilöiden kohdalla  $VO_{2max}$  voi raskaassa kuormituksessa poiketa lineaarisuudesta ylöspäin. (Davies 1968.)



KUVA 8. Sykkeen ja hapenkulutuksen välinen lineaarinen yhteys (Reis ym. 2011).

Testiolosuhteiden ja -tilanteen vakiointi vaikuttaa olennaisesti testin tarkkuuteen. Mittalaitteet tulee olla kalibroidut ja ylimääräiset testihenkilöä häiritsevät tekijät pitää poistaa. Submaksimaalisessa testissä kullakin kuormalla testiä pitää suorittaa riittävän pitkän aikaa, jotta testattava ehtii saavuttaa steady-state-tilan. Kuormien valinnassa käytetään taulukoita, jotka on laadittu testattavien iän, kuntotason ja kehon painoon perustuen. (Whaley ym. 2006.)

Kuormien ja VO<sub>2</sub>max-arvon arvioimiseen voidaan käyttää myös ns. Non-Exercise (NEx) -menetelmää (Jackson ym. 1990). NEx-menetelmän mukaan henkilön iän, sukupuolen, painoindeksin ja liikunta-aktiivisuuden perusteella pystytään arvioimaan maksimaalinen hapenottokyky lähes yhtä tarkasti kuin perinteisillä submaksimaalisilla testeillä. NEx-menetelmällä arvioitu hapenkulutus voidaan muuttaa polkemistehoksi, jolloin kuorma saadaan määriteltäviksi likimain oikeaksi ennen testiä. Submaksimaalisessa testissä kuormia tulisi olla 3-4 kappaletta, joiden tulisi olla noin 40-80% VO<sub>2</sub>max:sta (Keskinen ym. 2007, 78-117.)

### 3.3 Kenttätестit

Kenttätестit ovat laboratoriotestejä soveltuvampia suuren joukon testaamiseen kerralla. Kenttätестit ovat lisäksi käytännöllisiä, koska niissä ei tarvita laboratoriolaitteita eikä -tiloja. Juoksu- ja kävelytestit perustuvat tiettyssä ajassa edettyyn matkaan tai tiettyyn matkaan kulu-neeseen aikaan. Kenttätестimenetelmiin on kehitetty myös ennustekaavoja VO<sub>2</sub>max:in arvi-oimiseksi. Kenttätестit voivat olla epäluotettavia, koska suoritusmotivaatio tai suorituksen ai-kataulus voivat olla puutteelliset. Lisäksi kenttätестeihin liittyy terveysriskejä. Useat kenttätестit perustuvat maksimaaliseen suoritukseen, jolloin ikääntyneet tai kroonisesti sairaat voi-vat saada komplikaatiota. Hyväkuntoisille, terveille ja nuorille kenttätестit soveltuvat kuiten-kin hyvin. (Keskinen ym. 2007, 104-117.)

Eräs tunnetuimmista kenttätестeistä on Cooperin 12 minuutin juoksutesti, jonka Cooper ke-hitti Balken 15 minuutin juoksutestin pohjalta (Cooper 1968). Nimensä mukaisesti testissä juostaan tasaisella vauhdilla 12 minuuttia tasaisella alustalla tunnetun mittaisella radalla. Tes-tattavan tavoitteena on juosta mahdollisimman nopeasti kuntonsa puitteissa. 12 minuutin juoksun jälkeen testi lopetetaan ja juostu matka mitataan tarkasti. Tuloksen laskennassa käy-tetään Cooperin kehittämää kaavaa VO<sub>2</sub>max:in laskemiseksi: (Cooper 1968.)

$$\text{VO}_2\text{max (ml/kg/min)} = (\text{juostu matka metreinä} - 504,9) / 44,73 \text{ (Cooper 1968).}$$



UKK-kävelytesti on UKK-instituutin Suomessa kehittämä kenttätesti, joka sopii hyvin myös vähemmän liikkuville ihmisille. Testi suoritetaan kävelemällä ripeästi 2 km tasaisessa maastossa tasaisella alustalla. Testin tuloksena saatava VO<sub>2</sub>max-arvo lasketaan alkuperäistutkimuksessa kehitetyllä kaavalla, jossa muuttujina ovat kävelyaika, loppusyke, ikä ja painoindeksi (*body mass index*, BMI). Naisille ja miehille on omat laskentakaavansa. (Oja ym. 2001.)

UKK-kävelytestin laskentakaavat:

Naiset: VO<sub>2</sub>max (ml/kg/min) = 116,2 – 2,98 \* aika – 0,11 \* syke – 0,14 \* ikä – 0,39 \* BMI

Miehet: VO<sub>2</sub>max (ml/kg/min) = 184,9 – 4,65 \* aika – 0,22 \* syke – 0,26 \* ikä – 1,05 \* BMI

Kestävyyskulkajuoksutesti on kenttäolosuhteissa suoritettava maksimaalinen epäsuora testi. Testi on kehitetty mittaamaan lasten, terveiden aikuisten ja jatkuvia pysähdyksiä ja liikkeelle lähtöjä sisältäviä lajeja, kuten jalkapallo, koripallo, miekkailu jne., harrastavien urheilijoiden maksimaalista hapenottokykyä. Testattavat juoksevat 20 metrin mittaista rataa edestakaisin. Samaan aikaan etukäteen nauhoitetulta tallenteelta annetaan merkkiäänäni. Testattavan täytyy koskettaa 20 metrin viivaa samaan aikaan merkkiäänänen kanssa. Merkkiäänänen taajuus kasvaa 0,5 km/h jokaisen testiminuutin jälkeen testin alkuvauhdin ollessa 8,5 km/h. Kun testattava ei enää kykene pysymään merkkiäänänen asettaman tahdin vauhdissa, testin juoksutulokseksi merkitään viimeisen juostun 20 metrin järjestysnumero, jota käytetään testattavan VO<sub>2</sub>max:in arvioimiseen alla esitetyn kaavan mukaisesti. (Leger ym. 1988.)

VO<sub>2</sub>max (ml/kg/min) = 31,025 + 3,238 \* (8 + 0,5 \* 20 m nro.) – 3.248 \* ikä + 0,1536

### 3.4 Eri menetelmien luotettavuus ja tarkkuus

Suorituskyvyn testaaminen on yksi tärkeimpiä mittauksiin liittyvistä aiheista liikuntafysiologiassa. Hyvän testin määrittelevät kolme eri tekijää: validiteetti (testin pätevyys, mittaa oikeaa

asiaa), reliabiliteetti (testin toistettavuus) ja sensitiivisyys (muutosherkkyys). Hyvässä testi-protokollassa simuloitu testisuoritus muistuttaa mahdollisimman paljon simuloitavaa urheiluprosuuritusta. Tutkittaessa urheilusuoritus-tyyppisiä tapahtumia, yleisimmin käytetyissä protokollissa mitataan aikaa, joka kuluu testihenkilön uupumiseen kuorman kasvaessa portaittain. Vaihtoehtoisesti testattava suorittaa testiä tietyn määritellyn ajan tai matkan. (Currell & Jeukendrup 2008.)

Vakioitujen suorituksen ajan kestävässä testeissä on suurempi validiteetti, koska ne vastaavat hyvin alkuperäistä simuloitavaa urheilusuoritusta. Jalkapallon kaltaiset lajit ovat vaikeasti simuloitavissa monipuolisuutensa takia. Sukkulajuoksu-tyyppiset protokollat vastaavat ehkä fysiologiselta suoritukseltaan hyvin jalkapalloa, mutta eivät siltikään ole valideja jalkapallotestejä, koska niistä puuttuu muun muassa jalkapalloon olennaisesti liittyvä taitoultavuus. Tutkimusten mukaan vakioitujen testiaikaa tai -matkaa perustuvilla protokollilla on pienempi variaatiokerroin (CoV) kuin uupumukseen saakka viedyillä protokollilla. (Currell & Jeukendrup 2008.) Variaatiokerroin on hajonnan tunnusluku, joka ei ole mittayksikköön sidottu. Variaatiokerroin on määritelty keskihajonnan ja keskiarvon osamääränä. (Nummenmaa 2004.) Tämän perusteella tietyn ajan tai matkan kestävät protokollat ovat toistettavampia kuin suorat maksimaaliset uupumukseen saakka viedyt testit. Hyvän sensitiivisyyden omaavalla protokollalla voidaan löytää pieniä mutta tärkeitä muutoksia suorituskyvyssä. (Currell & Jeukendrup 2008.)

Engin ym. (2004) tutkimuksessa tutkittiin VO<sub>2</sub>max-testien ja -uusintatestien reliabiliteettia ja samanaikaista validiteettia submaksimaalisissa testeissä. Tulosten perusteella sekä submaksimaalisten testien että maksimaalisten testien reliabiliteetti oli erittäin korkea. (Eng ym. 2004.)

Grantin ym. (1995) tutkimuksessa vertailtiin Cooperin 12 minuutin juoksumatkaa, kestävyys-sukkulajuoksumatkaa (MST) ja submaksimaalista pp-ergo-testiä suoraan VO<sub>2</sub>max-testiin juoksumatalla. Testiryhmä koostui 22:ta säännöllisesti harjoittelevasta nuoresta miehestä, jotka suorittivat kaikki testit. Kolmen sykkeen ja VO<sub>2</sub>max:in lineaarisuuteen perustuvan testin tuloksia verrattiin suoran maksimihapenottokykytestin tuloksiin. Testien tulosten keskiarvot

olivat  $VO_2\text{max}$ :in osalta: suoratesti 60.1 ml/kg/min, Cooperin testi 60.6 ml/kg/min, MST 55.6 ml/kg/min ja pp-ergo-testi 52.0 ml/kg/min. (Grant ym. 1995.) Sekä MST että pp-ergo-testi aliarvioivat  $VO_2\text{max}$ -arvoa Cooperin testin ollessa tämän tutkimuksen valossa luotettavin epäsuora testi.

Hopkinsin (2000) review-artikkelissa tutkittiin tehon toistettavuutta kuntotesteissä 101 tutkimuksessa CoV:n avulla. Heidän mukaansa suurin vaikutus reliabiliteettiin oli testin tyypillä. Pienimmät CoV:t olivat pikajuoksun kenttättestissä, progressiivisten juoksumatto- ja pp-ergo-testien huipputehoissa, 1 min–3 h tasaisen vauhdin juoksumatto- ja pp-ergo-testien keskitehoissa, laktaattikynnystehoissa ja hyppytestien hyppykorkeuksissa tai -pituuksissa. Urheilemattomilla yksilöillä oli suurempi CoV kuin urheilijoilla. Urheilemattomista yksilöistä naisilla oli suurempi CoV kuin miehillä. Lyhimmissä (n. 1 s) ja pisimmissä (n. 1 h) testeissä oli suurempi CoV kuin keskipitkissä testeissä (n. 1 min.). Respiratorisissa testeissä oli suurempi CoV kuin ergometrin tehoa mittaavissa testeissä. (Hopkins 2000.)

## 4 SYKKEEN JA JUOKSUNOPEUDEN VÄLINEN YHTEYS

Lukuisat tekijät vaikuttavat kehon akuutteihin vasteisiin kuormituksessa. Esimerkiksi ympäristötekijät on otettava tarkasti huomioon vasteita tutkittaessa. Keho reagoi muun muassa ympäristön lämpötilaan, kosteuteen, meluisuuteen tai valoisuuteen. Myös koehenkilön ravitsemus- ja harjoitteluperäisellä kuormitustilalla on vaikutusta harjoitteluvasteisiin. (Lambert ym. 1998.)

### 4.1 Kuormituksen keston ja tehon vaikutus

Keveyen ja kohtuullisesti rasittavan harjoituksen alkaessa syke nousee parasympaattisen aktiivisuuden vähentyessä ja sympaattisen aktiivisuuden lisääntyessä. Mitä suuremmaksi kuormitus kasvaa, sitä pienemmäksi parasympaattisen hermoston sykettä ohjaava vaikutus käy ja häviää kokonaan tietyllä tasolla maksimisykkeestä, minkä jälkeen syketaajuuden muutoksia ohjaa pääasiassa sympaattinen hermosto (Tulppo ym. 1996). Brennerin (1998) mukaan sykkeen nousu rasituksen jatkuessa liitetään vagaalisen toiminnan laskuun, sinussolmukkeen lämpenemiseen ja plasman noradrenaliinitason nousuun (Brenner ym. 1998).

Boudet ym. (2004) tutkivat sykkeen ja juoksunopeuden välistä yhteyttä korkealla intensiteetillä yhtäjaksoisessa suorituksessa juoksumatolla. Tavoitteena oli mitata tarkasti tarvittavan juoksunopeuden laskun suuruus sykkeen ylläpitämiseksi tehokkaan harjoittelun tasolla sekä tutkia, että onko juoksunopeuden lasku suoraan riippuvainen harjoituksen tehosta. Koehenkilöinä oli 16 miespuolista kestävyysurheilijaa, jotka suorittivat yhteensä viisi juoksumattotestiä. Yksi testi oli suora VO<sub>2</sub>max-testi, joka sisälsi maksimaalisen aerobisen vauhdin (*engl. Maximum Aerobic Velocity, VMA*) testin. Lisäksi suoritettiin neljä erillistä uupumukseen saakka vietyä testiä 82%, 86%, 89% ja 92% kuormilla VMA:sta vähintään 72 tunnin palautumisajalla. Testeissä mitattiin aika, jonka koehenkilö kykeni kullakin kuormalla juoksemaan. Testi alkoi kolmen minuutin lämmittelyllä, jonka jälkeen juoksumaton pyörimisnopeutta lisättiin vähitellen kunnes tavoitevauhti oli saavutettu. Tämän jälkeen pyrittiin stabiloimaan

syke (HR) säätämällä juoksumaton nopeutta jatkuvasti juoksunopeuskuorman mukaisesti +/- 0,5 km/h 30 s välein. Juoksunopeus-syke-suhteessa havaittiin kolme vaihetta: lisääntyvän adaptaation (AB) vaihe 0-165s, jossa edetyn matkan keskiarvo per 1 sydämen syke oli 1,65 metriä. Siirtymävaihe (B) alkoi 170 s kohdalla ja kesti 245 s:iin saakka. Nopeuden vähentymisvaihe (BC) ajoittui testissä 250 s–1800 s aikavälille, jossa syke oli 1,29 m/syke 1800 s kohdalla. Taulukossa 1 esiteltyjen tulosten perusteella tutkijat päättelivät, että syke (HR) ja juoksunopeus (RS) eivät ole keskenään vaihdettavissa olevia muuttujia. Huomioitavaa oli, että koehenkilöt juoksivat eri suhteellisilla nopeuksilla, mutta saavuttivat saman osuuden sykereservistä. (Boudet ym. 2004.)

Kardiovaskulaarinen drifti (engl. Cardiovascular drift, CV drifti) tarkoittaa ilmiötä, jossa sydän- ja verenkiertoelimistössä tapahtuu jatkuva ajasta riippuvainen muutos keskitehoisen harjoituksen kestänyt noin 10 minuuttia. CV driftille tunnusomaista on progressiivinen lasku iskutilavuudessa (SV) ja keskiverenpaineessa (MAP) sykkeen noustessa samanaikaisesti. (Ekelund 1967.) Rowellin (1986) mukaan CV drifti johtuu jatkuvasti lisääntyvästä kutaaniseen verenkierrosta kehon lämpötilan kasvaessa harjoituksen aikana, mikä johtaa kasvaneeseen kutaaniseen laskimovolyymiin, pienentyneeseen kammion täyttöpaineeseen, diastoliseen volyymiin ja SV:een. (Rowell 1986.) Tämä näkemys on kiistanalainen (Coyle & Gonzalez-Alonso 2001). Fritzschen ym. (1999) mukaan kohonnut ydinlämpötila on voimakkaasti yhteydessä kohonneeseen sykkeeseen (Fritzsche ym. 1999). Mikäli ydinlämpötila pysyy muuttumattomana, myöskään SV ei pienene. Jo yhden asteen nousu ydinlämpötilassa aiheuttaa pienemmän SV:n ja kasvattaa sykettä. Mikäli tähän liittyy vielä nestehukkaa, se kiihdyttää entisestään CV driftiä nostaen sykettä. Jos ydinlämpötilan nousu estetään harjoittelemalla kylmissä olosuhteissa, selittyy iskutilavuuden lasku pelkästään nestehukalla ja pienentyneellä verivolyymilla. SV palautuu lähes samalle tasolle ennen nestehukkaa, jos nestehukka ja verivolyymivaje poistetaan nesteyttämällä. Verenvähyys itsessään voi jo aiheuttaa SV:n pienentymisen, mutta jos tähän yhdistetään kehon lämpötilan nousu, on SV:n pieneminen ja sitä kautta sykkeen nousu dramaattisempaa. (Gonzalez-Alonso ym. 1997.) Kovan pitkäkestoisen harjoituksen aikana koko kehon VO<sub>2</sub> lisääntyy johtuen pääosin työskentelevien lihasten li-

sääntyneestä VO<sub>2</sub>:n kulutuksesta, jota kehon lämpötilan kohoaminen vaikeuttaa. Kovatehoinen kuormitus ja kuumuus saavat aikaiseksi CV driftin, johon liittyy lisääntyvä lasku MAP:ssa ja SV:ssa. Tätä kasvua kompensoi kasvava syke minuuttitilavuuden ylläpitämiseksi. SV:n lasku johtuu osin sydämen kammion täyttymispaineen ja keskuslaskimopaineen laskusta samaan aikaan, kun kutaaninen laskimopaine nousee. Myös sydämen inotrooppinen tila voi heikentyä pitkäkestoisen uuvuttavan harjoituksen seurauksena. (Mole & Coulson 1985.)

TAULUKKO 1. Neljän juoksumattotestin päätulokset (Boudet ym. 2004.)

	HR (b·min <sup>-1</sup> )	HRR (%)	RS (m·s <sup>-1</sup> )	VMA (%)	Duration (s)	RS/HR (m·beat <sup>-1</sup> )
L1	174.9 ± 8.1	86.5 ± 3.1	4.23 ± 0.14	82.1 ± 6.1	2195 ± 267	1.45 ± 0.22
L2	174.8 ± 9.8	86.6 ± 4.8	4.35 ± 0.13	84.4 ± 5.5	1478 ± 195	1.49 ± 0.22
L3	175.3 ± 7.7	87.3 ± 4.4	4.57 ± 0.11	88.8 ± 3.3	948 ± 120	1.56 ± 0.19
L4	175.1 ± 9.5	85.8 ± 5.3	4.62 ± 0.11	89.9 ± 6.4	592 ± 69	1.58 ± 0.18
<i>p</i>	ns	ns	L1 vs. L4, <i>p</i> < 0.05	[L1, L2] vs. [L3, L4], <i>p</i> < 0.05	<i>p</i> < 0.05 excepted L3 vs. L4, ns	ns

Sykkeeseen poikkeamispiste (*engl. Heart Rate Deflection Point, HRDP*) tarkoittaa sydämen sykkeeseen poikkeamista ylös- tai alaspäin sykkeeseen ja työn lineaarisesta suhteesta, joka ilmenee progressiivisen, inkrementaalisen kuntotestauksen aikana Ank:n kohdalla. Vuonna 1982 Conconi ym. (1982) esittivät, että tätä ilmiötä voitaisiin käyttää epäsuorana menetelmänä Ank:n määrittämisessä. Tutkijat kehittivät kenttätestin HRDP:n määrittämiseen, josta on sittemmin on käytetty nimitystä Conconi-testi. (Bodner & Rhodes 2000.) Conconi-testissä urheilija lisää juoksunopeuttaan asteittain, noin 0,5 km/h 200 m välein. Syke ja väliajat kirjataan ylös jokaisen 200 m lopussa. Nopeutta nostetaan kunnes urheilija ei enää kykene säilyttämään juoksunopeutta tasaisena koko 200 m matkaa. Nopeus- ja syketiedot piirretään koordinaatistoon, josta Ank voidaan määrittää. (Keskinen ym. 2007, 110-111.) Vachon ym. (1999) tutkivat miten kuntotestien eri testiprotokollat vaikuttavat ristiriitaisiin tuloksiin niiden välillä. Samalla

tutkittiin kuinka tarkasti HRDP ennusti Ank:n. Tutkimuksessa kahdeksan koehenkilöä suoritti neljä kuntotestiä kukin. Testeinä olivat Conconi-testi, suora VO<sub>2</sub>max-testi juoksumatolla, juoksumattotesti nousevalla nopeudella ja Ank-juoksumattotesti 3 min kuormilla. Kaikkien koehenkilöiden sykkeessä havaittiin HRDP juoksuradalla, mutta vain puolella HRDP havaittiin juoksumatolla eli Ank-juoksumattotesti yliarvioi Ank:n. Tämän tutkimuksen valossa tutkijat päättelivät, että HRDP ei ole tarkka Ank:n määrittäjä. (Vachon ym. 1999.)

## **4.2 Ulkoiset tekijät**

Sykkeeseen vaikuttavien sisäisten tekijöiden lisäksi siihen vaikuttaa myös useita ulkoisia tekijöitä, joista keskeisimpiä ovat lämpötila, korkea ilmanala, korkeuserot, ilmanvastus, vaateus, juoksukengät ja juoksualusta.

### **4.2.1 Lämpötilan vaikutus**

Lämpötilastressi nostaa sykettä levossa ja submaksimaalisissa suorituksissa (Kamon & Belding 1971) johtuen muun muassa veren kohonneesta lämpötilasta eteissolmukkeessa ja autonomisen hermoston aktiivisuusmuutoksesta (Gorman & Proppe 1984). Williamsin ym. (1962) tutkimuksessa mitattiin hapenkulutusta useilla eri työtehoilla matalasta tehosta aina koehenkilön maksimisuorutukseen saakka. Submaksimaalisissa suorituksissa hapenkulutus oli merkittävästi matalampi kuumissa olosuhteissa kuin miellyttävämmissä viileissä olosuhteissa. Viileämmissä olosuhteissa minuuttitilavuus ja valtimo-laskimo-happiero viittasivat hapenkulutuksen nousuun submaksimaalisessa työssä. Suurin muutos sydämen toiminnassa kuumassa oli kasvanut syketaajuus ja siihen liittynyt iskuilavuuden lasku. Minuuttitilavuus tai valtimo-laskimo-happiero eivät kuitenkaan muuttuneet merkittävästi viileämpiin olosuhteisiin verrattuna. Veren laktaattipitoisuus oli merkittävästi matalampi kuumissa olosuhteissa kuin viileämmissä, jolloin kuormituksen alaiset lihakset olivat suhteellisesti hapettomamassa tilassa submaksimaalisessa työssä, mikä viittasi matalampaan hapenottoon. (Williams ym. 1962.)

## 4.2.2 Korkean ilmanalan vaikutus

Korkea ilmanala vaikuttaa ihmisen suorituskykyyn monella tavoin. On tunnistettu monia tekijöitä, jotka muuttuvat siirryttäessä korkeammalle meren pinnan tasolta. Niiden seurauksena maksimaalinen aerobinen suoritusteho heikkenee. Sydämen toiminta pysyy melko muuttumattomana, mutta hengitystoiminnot muuttuvat. Eräs ilmiö korkealla oltaessa on keuhkotuuletuksen lisääntyminen. Vähähapellisissa olosuhteissa keuhkotuuletusvasteesta voidaan arvioida hyötykö yksilö korkeista olosuhteista, esimerkiksi parantuneena merenpinnan tason urheilusuorituksena. Hiilihydraattimetabolia muuttuu huomattavasti korkealla oltaessa rasvojen käytön substraattina lisääntyessä. (Jackson & Sharkey 1988.)

Boutellierin ym. (1990) tutkimuksessa kuusi tutkimusmatkailijaa osallistui VO<sub>2</sub>max-tekijöiden tutkimukseen vuoristo-olosuhteissa 8398 m korkealla Mt. Lhotse vuorella. Odotettua VO<sub>2</sub>max-arvon laskemista tasapainotti osaltaan koehenkilöiden perusleiriä lähestyttäessä suorittama harjoittelu, jonka seurauksena koehenkilöiden VO<sub>2</sub>max laski odotetun 30-35% sijaan vain 18%. Palattaessa 5200 metrin korkeuteen laskenut VO<sub>2</sub>max arvo ei kasvanut merkittävästi. Veren hemoglobiini (Hb) sen sijaan nousi progressiivisesti. Veren ohentaminen kahden litran isotonisella liuksella aiheutti 2,3% laskun hematokriitissä (Hct) ja 7,3% laskun VO<sub>2</sub>max-arvossa (ml/kg). Sykkeessä havaittiin jonkin asteista muutosta, joskaan ei merkittävää. Tutkimusmatkan aikana kohonnen Hb:n määrä ei kasvattanut VO<sub>2</sub>max:ia 400 metrin korkeudessa. (Boutellier ym. 1990.)

## 4.2.3 Maaston korkeuserojen vaikutus

Creaghin ym. (1998) tutkimuksessa tutkittiin erilaisten juoksemiseen perustuvien kilpailuiden vaikutusta sykkeeseen naisurheilijoilla. Lajeina olivat maastojuoksu (n = 15), vuoristajuoksu (n = 20) ja suunnistus (n = 25). Referenssilajina tutkittiin maantiejuoksua (n = 21). Koehenkilöiden syke mitattiin ja tallennettiin sykemittareilla suoritusten aikana. Keskiarvosykkeet vaihtelivat maaston ominaisuuksien mukaisesti. Korkein syke oli maantiejuoksussa ja matalin



suunnistuksessa, jossa oli myös eniten vaihtelua sykkeen taajuudessa, mikä voi johtua maaston muodosta tai suunnistukseen liittyvästä teknisestä ulottuvuudesta. Maantiejuoksussa ja maastojuoksussa havaittiin positiivinen trendi sykkeen regressiolinjoissa aikaan verrattuna, mitä ei havaittu vuoristajuoksussa tai suunnistuksessa, joissa ei havaittu myöskään säännönmukaisuutta. Tutkijat tulivat siihen tulokseen, että maastojuoksun aiheuttama sykeväste vaihtelee muuttuvien olosuhteiden, pinnan muotojen, kasvillisuuden ja nousujen vaatimusten mukaisesti. (Creagh ym. 1998.) Tutkimuksessa ei mitattu korkeusvaihteluita eikä juostuja matkoja ollenkaan, jotka saattavat vaikuttaa olennaisesti syketaajuuteen. Jos reitti koostuu pelkästään ylämäestä tai alamäestä, se voi vaikuttaa juokсутekniikkaan ja sitä kautta sykkeeseen. Samoin jos juostu matka on 2 km tai vaihtoehtoisesti 20 km, on selvää, että syke on erilainen. Lisäksi suunnistus lajina on hieman erilainen muihin tutkimuksen lajeihin verrattuna, koska siinä voidaan jopa pysähtyä välillä lukemaan karttaa ja kompassia. Tällöin syke pääsee välillä laskemaan, mikä selittäisi tutkimuksessa havaitun suuren syketaajuuden vaihtelun suunnistuksessa. Hardinin ym. (2004) tutkimuksen mukaan hapenkulutus ja syke nousevat merkittävästi pitkäkestoisessa alamäkijuoksussa (Hardin ym. 2004).

Paavolaisen ym. (2000) tutkimuksessa tutkittiin  $VO_2\text{max}$ -arvoa suoralla maksimaalisella testillä juoksumatolla. Koehenkilöinä oli keskimatkojen juoksijoita, triathlonisteja ja murtomaahiihtäjiä. Kaikki koehenkilöt suorittivat useita testejä, joista yksi oli tasaisella ( $0^\circ$ ) juoksumatolla juostu suora maksimaalinen  $VO_2\text{max}$ -testi. Toisessa suorassa  $VO_2\text{max}$ -testissä juoksumatto oli  $7^\circ$  nousukulmassa. Kaikki koehenkilöt saavuttivat suuremman  $VO_2\text{max}$ -arvon  $7^\circ$  kulmassa, vaikka juoksuvauhdit olivat pienemmät nousukulmassa juostessa. (Paavolainen ym. 2000.)

Pivarnikin & Shermanin (1990) tutkimuksessa tutkittiin ylämäkien ja alamäkien vaikutusta hapenkulutukseen ja sykkeeseen. Koehenkilöinä oli 12 kestävyysharjoitellutta miestä ja naista. Koehenkilöt kävelivät (4,8 km/h) tai juoksivat (9,6 km/h) juoksumatolla 25 minuutin ajan. Juoksumaton kulmaa säädettiin 5 min välein kulmien ollessa alhaalta ylöspäin tai päinvastoin -10, -5, 0, 5 ja 10%. Juoksumaton nopeus ja nousukulma oli satunnaistettu.  $VO_2$  ja

syke eivät poikenneet toisistaan kävellessä, kun nousukulma oli negatiivinen. Juoksuvauhdissa sekä  $VO_2$  että syke nousivat merkitsevästi nousukulmaa kasvatettaessa, joskin nousut olivat pienempiä nousukulman ollessa negatiivinen. Tulosten valossa tutkijat päättelivät, että sekä kävelyn että juoksun taloudellisuus vaihtelevat juoksumaton eri nousukulmien välillä. Erot sukupuolten välillä osoittautuivat merkitsemättömiksi toisistaan. (Pivarnik & Sherman 1990.)

#### **4.2.4 Ilmanvastuksen vaikutus**

Mitä suurempi nopeus juoksijalla on, sitä suuremmaksi ilmanvastus kasvaa ja sitä enemmän energiaa kulutetaan. Mitä lyhyempi juoksumatka on, sitä suurempi on nopeus maksimaalisessa suorituksessa ja sitä enemmän energiaa kuluu ilmanvastuksen kumoamiseen. Davies (1980) arvioi, että 5000 metrin juoksijoilla kokonaisenergiankulutuksesta 4% menee ilmanvastuksen voittamiseen ja maratoonareilla 2% (Davies 1980). Pugh (1970) puolestaan arvioi, että 5000 metrin juoksussa 21,5 km/h vauhdissa 8% ja 100 metrin juoksussa 10 sekunnin aikaan 16% kokonaisenergiankulutuksesta menisi ilmanvastuksen voittamiseen (Pugh 1970). Edellä mainitut tutkimukset koskivat lähinnä ilmanvastusta, mutta vastatuulen kyseessä ollessa ilmiö on energiankulutuksen kannalta sama. Kuntotestejä laboratorio-olosuhteissa tehtäessä ja tuloksia analysoitaessa on otettava huomioon ilmanvastuksen ja vastatuulen puuttuminen.

#### **4.2.5 Vaatetuksen ja juoksukenkien vaikutus**

Kyle & Caiozzo (1986) osoittivat tutkimuksessaan, että juoksijan on mahdollista alentaa ilmanvastustaan jopa 0,5-6% parantamalla aerodynamiikkaansa vaatetuksen, kenkien ja hius-ten avulla. Kestävyys- ja pikajuoksusta kehitettyjen matemaattisten mallien avulla on mahdollista arvioida ilmanvastuksen vaikutusta juoksun loppu-aikaan. 100 metrin juoksussa aikaparanus olisi 0,01 s ja maratonilla 5,7 s, mikä tarkoittaisi matkassa 0,1 – 31 m. On myös huomattava, että mitä korkeammalla merenpinnan tasosta ollaan, sitä pienempi ilmanvastus

on, mikä vaikuttaa ilmanvastuksen aiheuttamaan laskennalliseen juoksuajan parannukseen. (Kyle & Caiozzo 1986.)

Myös sitä on tutkittu, miten vaatetus vaikuttaa kehon lämpötiloihin, ja sitä kautta metaboliaan urheilusuorituksen aikana. Gavin ym. (2001) tutkivat hien haihduttamiseen suunnitellun teknisen urheiluvaatetuksen, puuvillavaatetuksen ja vaatteettomuuden vaikutusta kehon lämpötiloihin tietyissä olosuhteissa (+30 astetta, 35% kosteus). Tutkijoiden mukaan vaatetuksen laadulla tai sen määrällä ei ollut vaikutusta koehenkilön fysiologiseen lämmönsäätelyyn ennen, aikana tai jälkeen harjoituksen. (Gavin ym. 2001.)

#### **4.2.6 Juoksualustan vaikutus**

Kerdok ym. (2002) tutkivat juoksualustan kovuuden vaikutusta metaboliaan. Koehenkilöinä oli 8 miestä, jotka juoksivat 3,7 km/h vauhdilla viidellä eri kovuisella alustalla, jonka aikana mitattiin muun muassa kehon aineenvaihduntatuotteita. Asfalttia hieman pehmeämpi juoksualusta vähensi koehenkilön metaboliaa, minkä perusteella tutkijat päättelivät juoksualustan vaikuttavan juoksun taloudellisuuteen. (Kerdok ym. 2002.)

Hardinin ym. (2004) tutkimuksessa tutkittiin juoksualustan ja juoksukenkien välipohjan kovuuden vaikutusta juoksun kinematiikkaan ja koehenkilön metaboliaan. Hapenkulutus oli suurinta pehmeillä alustoilla ja se väheni, kun juoksualusta muuttui kovemmaksi. Kuitenkaan syke-erot eri alustoilla juostaessa eivät olleet merkitseviä. (Hardin ym. 2004.)

### **4.3 Sisäiset tekijät**

Sykkeeseen vaikuttavien ulkoisten tekijöiden lisäksi siihen vaikuttaa useat sisäiset tekijät, joista keskeisimmät ovat ravitsemustila, nestetasapaino, askelpituus- ja tiheys sekä harjoituskuorma.

### 4.3.1 Ravitsemustila

Syömämme ruoka voidaan jakaa kuuteen eri ravinnekategoriaan: hiilihydraatit, rasvat, proteiinit, vitamiinit, mineraalit ja vesi, joista hiilihydraatit ovat pääenergianlähteenämme erityisesti lyhytkestoisissa intensiivisissä kuormitustilanteissa, (Wilmore & Costill 2004, 118-148) kuten kappaleessa 2 on kerrottu.

Pizza ym. (1995) tutkivat hiilihydraattitankkauksen vaikutusta intensiiviseen lyhytkestoiseen urheilusuoritukseen ja kehon metaboliaan. Hiilihydraattitankkauksen jälkeen kahdeksan hyvin harjoitellutta juoksijaa suorittivat 15 minuutin submaksimaalisen juokсутestin sekä juokсутestin uupumukseen saakka. Kuuden päivän ajan noudatettuja ruokavalioida oli kahdenlaisia. Toinen sisälsi runsaasti hiilihydraattia ja toinen vähemmän. Hiilihydraatin hapetus oli suurempaa submaksimaalisessa suorituksessa tankkausryhmässä. Uupumukseen saakka suoritettussa juoksukuntotestissä tankkausryhmä saavutti paremman tuloksen kuin verrokki-ryhmä, minkä perusteella tutkijat päättelivät, että tankkaus lisää hiilihydraatin hapetusta submaksimaalisessa suorituksessa ja parantaa lyhytkestoista korkeaintensiteettistä juokсутsuoritusta. Hapenkulutukseen ja sykkeeseen eri hiilihydraattipitoisilla ruokavalioida ei kuitenkaan ollut merkitystä. (Pizza ym. 1995.) Tällä perusteella ruokavaliolla on siis merkitystä urheilusuoritukseen, toisin sanoen edetty matka on pidempi, vaikka syke ei muutu.

### 4.3.2 Nestetasapaino

Normaalin submaksimaalisen harjoittelun aiheuttama nestehukka voi vaikuttaa sykkeeseen. Jokainen kehon painosta nestehukan myötä menetetty 1% nostaa sykettä arviolta 7 sykettä minuutissa (*engl. Beats Per Minute, Bpm*) (Lambert ym. 1998). Mountainin & Coylen (1992) tutkimuksessa tutkittiin eriasteisten nestehukkien vaikutusta kehon lämpötiloihin, sykkeeseen ja iskutilavuuteen (SV) pitkäkestoisen harjoituksen aikana. Koehenkilöiden harjoittellessa heille annettiin eri määriä nestettä neljässä samanlaisessa erillisessä harjoituksessa korvaamaan menetettyä nestettä, jolloin saatiin aikaiseksi eriasteisia nestehukkatiloja. Kaksi tuntia harjoituksen jälkeen esophageaalinen lämpötila, syke ja SV olivat merkitsevästi erisuuruiset

neljän eri harjoituksen välillä. Nestehukan määrä oli lineaarisesti yhteydessä kohonneeseen lämpötilaan ja sykkeeseen sekä laskeneeseen SV:een verrattuna. Neljän eri harjoituksen välillä ei ollut eroa hikoilun määrässä. Lämpötilan nousu korreloi merkitsevästi seerumin osmolaliteetin ja natriumin pitoisuuden kohoamisen kanssa. Näin ollen kehon ydinlämpötilan ja sykkeen kohoamisen sekä iskutilavuuden pienentymisen suuruus ovat riippuvaisia nestehukan suuruudesta harjoituksen aikana. (Montain & Coyle 1992.)

Pitkäkestoisen harjoituksen aikana hikoilun kautta tapahtuva nesteen ja suolan hävikki pienentää plasman määrää, mikä johtaa sykkeen CV driftiin ja nestehukkaan, mitkä taas vaikuttavat suorituskykyyn alentavasti. Harjoituksen aikainen suun kautta tapahtuva nesteytys pienentää näitä seuraamuksia. Nesteytyksen vaikutus saadaan jopa tuplattua jos harjoituksen aikana nautittavaan nesteeseen on lisätty natriumia. Tällä menetelmällä saadaan myös kasvatettua plasman määrää ennen harjoitusta, jolloin osmolaliteetti ja plasman natriumin määrä kasvavat. (Mora-Rodriguez & Hamouti 2012.)

### **4.3.3 Askelpituus ja -tiheys**

Normaalisti juoksija valitsee askeleensa pituuden intuitiivisesti sen mukaisesti mikä tuntuu hänestä hyvälle. Cavanaghin & Williamsin (1982) tutkimuksessa tutkittiin kestävyysjuoksijoiden hapenkulutusta eri askelpituuksilla. Aluksi koehenkilön vapaasti valitsema askelpituus mitattiin, jonka jälkeen askelpituutta muutettiin +/- 20% verrattuna vapaavalintaiseen askelpituuteen. Muutettujen askelpituuksien aikaisesta juoksusta mitattiin hapenkulutus. Keskimääräinen hapenkulutuksen kasvu oli 2,6 ja 3,4 ml/kg pisimmillä ja lyhimmillä askelpituuksilla. Rajoittamaton askelpituus verrattuna optimaaliseen askelpituuteen aiheutti keskimäärin 0,2 ml/kg kasvun hapenkulutuksessa. Koehenkilöiden luonnostaan käyttämät tehokkaat askelpituudet perustuvat joko adaptoitumiseen valikoituneeseen askelpituuteen harjoittelemalla tai hyvin toimivaan energian optimointiin. Harjoitteleilla henkilöillä optimaalisen ja vapaasti valitun askelpituuden vaikutus hapenkulutukseen ei ole merkitsevä. (Cavanagh & Williams 1982.)

Juoksijan käyttämään askelpituuteen vaikuttavat useat eri tekijät kuten juoksunopeus, ylä- ja alamäet, juoksukengät, kehon mittasuhteet, juoksualusta, harjoitustausta, lihassolujakauma ja loukkaantumiset, mistä muodostuu monimutkainen yhtälö, kaikkien tekijöiden vaikuttaessa toisiinsa, jolloin kokonaisvaikutusta askelpituuteen ja -taajuuteen ei tiedetä. (Cavanagh & Kram 1989). Koska hapenkulutuksen ja sykkeen suhde on lähes lineaarinen (Lange Andersen ym. 1971), voidaan olettaa, että syke on matalimmillaan silloin, kun juoksija saa vapaasti valita askelpituutensa. Ja vastaavasti sykkeen voidaan olettaa nousevan suhteessa vauhtiin, mikäli askelpituutta kasvatetaan tai lyhennetään tietoisesti.

#### **4.3.4 Aerobisen suorituskyvyn vaihtelu ja harjoituskuorma**

Harjoitteluvasteen suuruus on riippuvainen harjoittelun kestosta, tehosta ja säännöllisyydestä sekä harjoittelijan lähtötasosta, perimästä, iästä ja sukupuolesta (Pierce ym. 1990). Harjoittelusta palautuminen on tärkeää adaptoitumisen kannalta. Riittämätön harjoittelu yhdessä liian pitkien palautumisjaksojen kanssa saattaa johtaa hidastuneeseen adaptaatioon. (Neufer 1989). Myös liiallinen harjoittelu on haitallista adaptaation kannalta ja voi johtaa ylikuntoon, jossa autonomisen hermoston toiminta muuttuu. Ylikunto voi olla sympaattista tai parasympaattista, ja ne voivat esiintyä myös yhtä aikaa. Sympaattisessa ylikunnossa sympaattinen hermosto on ylikuormittunut. Keskeisimmät oireet ovat kohonnut syke, väsymys ja levottomuus. Parasympaattisen ylikunnon oireet ovat laskenut syke, vetämättömyys ja saamattomuus. (Kellmann 2010.) Stonen ym. (1991) tutkimuksessa kohonnut leposyke on mainittu yhdeksi ylikunnon oireeksi (Stone ym. 1991), mutta yleisemmin käytetty muuttuja ylikunnon tutkimisessa on sykevälivaihtelu (Urhausen & Kindermann 2002). Sykkeen päivittäinen vaihtelu kontrolloiduissa submaksimaalisissa olosuhteissa on keskimäärin kuusi lyöntiä, mikä on yleisesti ottaen vähemmän kuin submaksimaalisen harjoittelun mukanaan tuoma sykkeen mataltuminen (Lambert ym. 1998).

Maksimaalinen ja submaksimaalinen suorituskyky alkaa heiketä viikkojen sisällä harjoittelun lopettamisesta. Alentunut suorituskyky liittyy sydän- ja verenkiertoelimistön ja lihaksiston

metabolisen potentiaalin toiminnan heikentymiseen.  $VO_2\text{max}$  ja veren määrä alenevat merkittävästi jo 2-4 viikon harjoittelemattoman jakson jälkeen.  $VO_2\text{max}$ -arvon nopea heikkeneminen on yhteydessä sydämen minuuttitulavuuteen, joka johtuu alentuneesta sydämen iskutilavuudesta. Aerobisella harjoittelulla aikaansaadut adaptaatiot on mahdollista säilyttää useiden kuukausien ajan mikäli harjoittelun määrä säilytetään alemmalla, riittävällä tasolla. Kolmasosan tai kahden kolmanneksen vähennys harjoittelun määrässä ei muuta merkittävästi  $VO_2\text{max}$ :ia tai submaksimaalista suorituskykyä ylläpitovaiheessa. Sen sijaan harjoittelun teho on määräävä komponentti, jonka ylläpitämisellä on merkitystä saavutettujen adaptaatioiden säilyttämiseksi. (Neufer 1989.)

Harjoittelun keventämisellä tarkoitetaan aikaväliä, jonka aikana palaututaan kovasta harjoittelusta ja samalla saadaan esille suorituskyvyn huippu, esimerkiksi tärkeitä kilpailuita varten. Urheilija harjoittelee säännöllisesti lähes ylikuntoilaan, josta palaututaan harjoitusta keventämällä. Tämä mahdollistaa superkompensaatioprosessin, joka maksimoi harjoittelun positiiviset vaikutukset samanaikaisesti palautumisprosessin kanssa. Kevennysmenetelmää käyttävät urheilijat saavuttavat merkittäviä parannuksia suorituskyvyssä (0,5-7%). (Houmard ym. 1994.) Näiden tutkimusten valossa urheilijan syke suorituksen aikana saattaa vaihdella sen mukaisesti, onko hänellä meneillään kevennetty harjoittelujakso vai kovan harjoittelun kausi.

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tavanomaisesta juoksuharjoituksesta laskettavan suorituskykyindeksin toistettavuutta ja eri tekijöiden vaikutusta toistettavuuteen.

Suorituskykyindeksi perustuu syke-, nopeus- ja maaston korkeustietojen mittaamiseen juoksun aikana. Suorituskykyindeksi on arvio maksimaalisesta teoreettisesta hapenkulutuksesta (ilmaistuna yksikössä ml/kg/min), johon vaikuttavat  $VO_2$ max ja juoksun taloudellisuus.

Suorituskykyindeksi lasketaan kaikkien harjoitusten aikana, kun syke, nopeus ja korkeus ovat saatavilla ja seuraavat edellytykset toteutuvat:

- Suorituskykyindeksin mittaamiseen on sopiva laitteisto
- Tallennetun juoksunopeuden täytyy olla vähintään 6km/h
- Juoksuharjoituksen keston täytyy olla vähintään 12 minuuttia

Tutkimuksen perusjoukon muodostivat harjoitustietokantaan harjoitusdatansa tallentaneet palvelun käyttäjät.

Tutkimusongelmat:

1. Kuinka toistettava suorituskykyindeksi on tietyissä vakio-olosuhteissa? Olosuhteita vakioitiin suodattamalla pois sykkeeltään, nopeudeltaan, korkeudeltaan ja teholtaan vaihtelevia harjoituksia. Toistettavuuden tunnuslukuna käytettiin yksilökohtaisesti laskettujen suorituskykyindeksien varianssien ryhmäkeskiarvoa (SIvarKa).
2. Mitkä tekijät vaikuttavat suorituskykyindeksin toistettavuuteen?



Hypoteesit:

1. Suorituskykyindeksi on hyvin toistettava vakio-olosuhteissa.
2. Suorituskykyindeksin toistettavuus paranee kun olosuhteita vakioidaan.

## 6 MENETELMÄT

Suorituskykyindeksiä tutkittiin analysoimalla harjoitustietokantaa. Tässä mielessä tutkimus oli poikkeava, koska se ei perustunut ennalta määriteltyyn koeasetelmaan. Tietokantaotantaan valittiin tietyt laite- ja harjoittelijavaatimukset täyttävät palvelun käyttäjät. Otanta esisuodattiin karsimalla joukosta ne harjoitukset, jotka eivät syke- ja nopeustietojen perusteella olleet juoksua. Otannan esianalyysissä harjoitteludatan avulla laskettiin useita fysiologisia näyttearvoja, joita käytettiin hyväksi datan suodatuksessa ja optimoinnissa.

### 6.1 Aineiston kuvaus

Juoksuharjoituksesta otetaan syke-, nopeus- ja korkeusnäytteitä harjoittelijan määrittelemien näytevälein. Näytteet tallennetaan rannetietokoneeseen, ja siitä edelleen harjoitustietokantaan, josta näytteet ovat analysoitavissa. Tutkimuksen kohteena ollut harjoitustietokanta sisälsi käyttäjien harjoitusdatan ympäri maailmaa vuosien ajalta. Harjoittelijoista käytettiin seuraavia taustatietoja:

- Sukupuoli (mies/nainen)
- Ikä (v)
- Maksimisyke (bpm)
- Leposyke (bpm)

Kustakin harjoituksesta poimittiin tutkimukseen seuraavat tiedot:

- Harjoitusten kesto aika (s)
- Urheilulajin tunniste (juoksu=1)
- Näytteenottoväli (s; 1, 3, 5 tai 15)
- Sykenäytteet näytteenottovälein (bpm)

- Nopeusnäytteet näytteenottovälein (km/h)
- Korkeusnäytteet näytteenottovälein (m)

## 6.2 Harjoitustietokantaotanta

Suorituskykyindeksin toistettavuutta tutkittiin niiltä tilastoyksiköiltä, jotka täyttivät seuraavat kriteerit:

- Harjoituksessa on ollut käytössä Polar G5 gps-sensorilla varustettu Polar RS800cx harjoitustietokone, jossa barometri (ilmanala) on ollut päällä.
- Harjoittelijalla oli vähintään 100 juoksuharjoitusta tallennettuna harjoitustietokantaan.
- Harjoittelija oli asettanut lepo- ja maksimisyke -arvot.
- Sukupuoli: mies tai nainen.
- Harjoittelijan ikä 18-65 vuotta.

Suorituskykyindeksin laskennassa käytettiin syke-, nopeus- ja korkeusnäytteitä sekä käyttäjän lepo- ja maksimisykearvoja. Otokseen haluttiin ottaa mukaan vain ne käyttäjät, jotka olivat asettaneet harjoitustietokantaan henkilökohtaiset lepo- ja maksimisykearvonsa, koska ne tarkentavat suorituskykyindeksiä. Palvelussa oleva leposykkeen oletusarvo on vakio ja maksimisykkeen oletusarvo perustuu käyttäjän ikään. Ikäperustainen maksimisykkeen laskeminen ei ole kovin tarkka, varsinkaan ikääntyneillä ihmisillä (Tanaka ym. 2001).

Yllä kuvatun suodatuksen perusteella otantaan valikoitui 350 harjoittelijaa, joilla oli harjoitustietokannassa yhteensä 183649 harjoitusta. Keskimäärin harjoituksia oli 520 kpl per harjoittelija. Harjoitusten määrän vaihteluväli oli [111, 2268]. Näistä harjoituksista juoksuharjoituksiksi harjoittelijat olivat merkinneet 105390 harjoitusta, keskimäärin 298 juoksuharjoitusta per harjoittelija. Näistä harjoituksista otokseen otettiin mukaan syke-, nopeus- ja korkeusnäytteet.

*Otannan esisuodatus.* Suorituskykyindeksin toistettavuuden tarkasteluaikaväliksi valittiin 2 kk harjoittelujakso, mikä on riittävän pitkä aika toistettavuuden tutkimiseen mikäli juoksuharjoituksia on vähintään 20. Tämä riittää ylläpitämään kuntoa edellyttäen, että harjoitukset ovat riittävän tehokkaita (Pierce ym. 1990). Harjoittelijoiden 2 kk harjoitusjakson ajoitus valittiin siten, että vuodenaika (syys-lokakuu) oli lumeton riippumatta harjoittelijan globaalista sijainnista. Juoksualustan liukkaus vaikuttaa juoksijan nopeuteen ja sykkeeseen, mikä saattaa aiheuttaa suorituskykyindeksissä vaihtelua vuodenajan mukaan (Kerdok ym. 2002; Hardin ym. 2004).

Otannasta poistettiin sellaiset juoksuharjoitukset, jotka ovat juoksuvauhdin osalta (yli 30 km/h) fysiologisesti mahdottomia. Näin käy jos harjoitteli esimerkiksi lähtee ajamaan autolla juoksuharjoituksen päätteeksi lopettamatta harjoituksen tallentamista tai suorittaa juoksuksi merkitsemänsä harjoituksen pyöräilemällä.

Esisuodatuksen jälkeen jäljelle jäi 153 harjoittelijaa, joilla oli yhteensä 3995 juoksuharjoitusta, vaihteluvälillä [20, 78] per harjoitteliija.

### **6.3 Otannan esianalysointi**

Juoksuharjoituksen alussa ja lopussa on usein vaihtelevaa harjoitusdataa, johtuen mahdollisista harjoittelijan suorittamista alku- ja loppuverryttelyistä tai muista harjoittelijan toimintatavoista. Tästä johtuen harjoituksen alun ja lopun näytteistä suodatettiin 5 minuuttia pois. Tutkimuksen esianalysointivaiheessa kaikkien otoksessa mukana olevien harjoittelijoiden kaikista harjoituksista laskettiin näytteiden perusteella seuraavat arvot:

### *Sykenäytteet*

- Harjoituksen keskisyke
- Sykenäytteiden minuuttikeskiarvo
- Sykenäytteiden minuuttikeskiarvojen vaihteluväli (sykealue)
- Keskisykkeen prosenttiosuus HRR:stä (harjoituksen teho)
- Sykenäytteiden minuuttikeskiarvojen varianssi (sykkeen varianssi)
- Sykkeen ja nopeuden minuuttikeskiarvojen osamäärän varianssi (syke-vauhtivarianssi)

### *Nopeusnäytteet*

- Nopeusnäytteiden minuuttikeskiarvo
- Nopeusnäytteiden minuuttikeskiarvojen vaihteluväli (nopeusalue)
- Nopeusnäytteiden minuuttikeskiarvojen varianssi (nopeuden varianssi)

### *Korkeusnäytteet*

- Korkeusnäytteiden minuuttikeskiarvo
- Korkeusnäytteiden minuuttikeskiarvojen vaihteluväli (korkeusalue)
- Korkeusnäytteiden minuuttikeskiarvojen varianssi (korkeuden varianssi)

Harjoitusnäytteistä laskettiin minuuttikeskiarvot, jotta voitiin laskea minuuttikeskiarvoihin perustuvia suureita, joita tässä työssä käytettiin. Samalla yksittäisten poikkeavien tai virheellisten näytteiden vaikutusta saatiin lievennettyä.

Harjoitusdataa tarkasteltiin seuraavan 8 harjoituksen ominaisuuden näkökulmasta:

- Sykkeen varianssi
- Nopeuden varianssi
- Korkeuden varianssi
- Sykealue
- Nopeusalue
- Korkeusalue
- Syke-vauhti-varianssi
- Harjoituksen teho (harjoituksen keskisykkeen prosenttiosuus HRR:stä).

#### **6.4 Suodatus ja optimointi**

Jäljelle jäävien harjoittelijoiden määrän tavoitteeksi suodatuksen jälkeen asetettiin 90% kaikista harjoittelijoista (vähintään  $153 \cdot 90\% = 137$ ) ja jäljelle jäävien harjoitusten vaatimukseksi asetettiin 50% per harjoittelija.

Jokaisesta harjoituksen ominaisuudesta ohjelmoitiin Matlab-ohjelma (suodatin), jolle annettavan parametrin arvoksi annettiin tasavälein 1000 kpl suodatettavan ominaisuuden eri arvoa. Suodatin vertasi jokaisen harjoituksen tarkasteltavan ominaisuuden arvoa suodattimelle annettun parametrin arvoon. Jos harjoitus täytti parametrin arvon asettaman vaatimuksen ja harjoittelijoiden ja harjoitusten määrävaatimukset täytyivät, tämän harjoituksen suorituskykyindeksi oli mukana SIvarKa:n laskennassa. Jos esimerkiksi harjoituksen sykealue oli suurempi kuin parametrille annettu arvo, harjoitus suodatettiin pois, mikäli harjoittelija- ja harjoitusmäärävaatimukset täytyivät. SIvarKa saatiin laskemalla jokaiselle harjoittelijalle kaikkien suodatuksen jälkeen jäljelle jääneiden harjoitusten SI:en varianssi ja laskemalla näiden varianssien keskiarvo kaikkien harjoittelijoiden kesken.

Suodatuksella tutkittiin kunkin kahdeksan tarkasteltavan ominaisuuden merkitys SIvarKa:n laskennassa. Suodattimen tehokkuuden osoitti se, kuinka paljon suodattamaton SIvarKa pienenee suodatuksessa niin, että harjoittelija- ja harjoitusmäärävaatimukset täyttyvät. Suodatin-testeillä pyrittiin löytämään optimointia varten 10 sopivaa parametriarvoa jokaista tehokkaasti vaikuttavaa ominaisuutta kohti.

Ensimmäiseksi parametrin arvoksi valittiin se arvo, jolla SIvarKa oli pienimmillään harjoittelija- ja harjoitusvaatimusten edelleen täytyessä. Kymmenenneksi parametrin arvoksi valittiin suodattimen piirtämien kuvaajien perusteella visuaalisesti tarkastelemalla se pienin parametrin arvo, jolla suodatin ei vielä vaikuta eli yhtään harjoitusta ei ole vielä karsittu. Yhdeksänneksi parametrin arvoksi valittiin visuaalisen tarkastelun perusteella se parametrin arvo, jolla suodatin alkaa selvästi vaikuttaa. Loput 7 parametrin arvoa valittiin matemaattisesti laskettuna tasaisesti ensimmäisen ja yhdeksännen parametrin arvon väliltä.

Suodatuksen tuloksena saatiin siis 10 parametriarvoa jokaista kahdeksaa ominaisuutta kohti. Optimointiin valittiin ne suodattimet jotka olivat tehokkaita. Optimointi tarkoittaa optimiarvon tai yleisemmin parhaan vaihtoehdon etsimistä. Optimoinnilla etsittiin jokaiselle ominaisuudelle sitä parametriarvoa, jolloin SIvarKa saavuttaa pienimmän mahdollisen arvon, kun kaikkia valittuja ominaisuuksia tarkasteltiin samanaikaisesti ja jäljelle jäävien harjoittelijoiden ja harjoitusten määrävaatimukset täyttyvät.

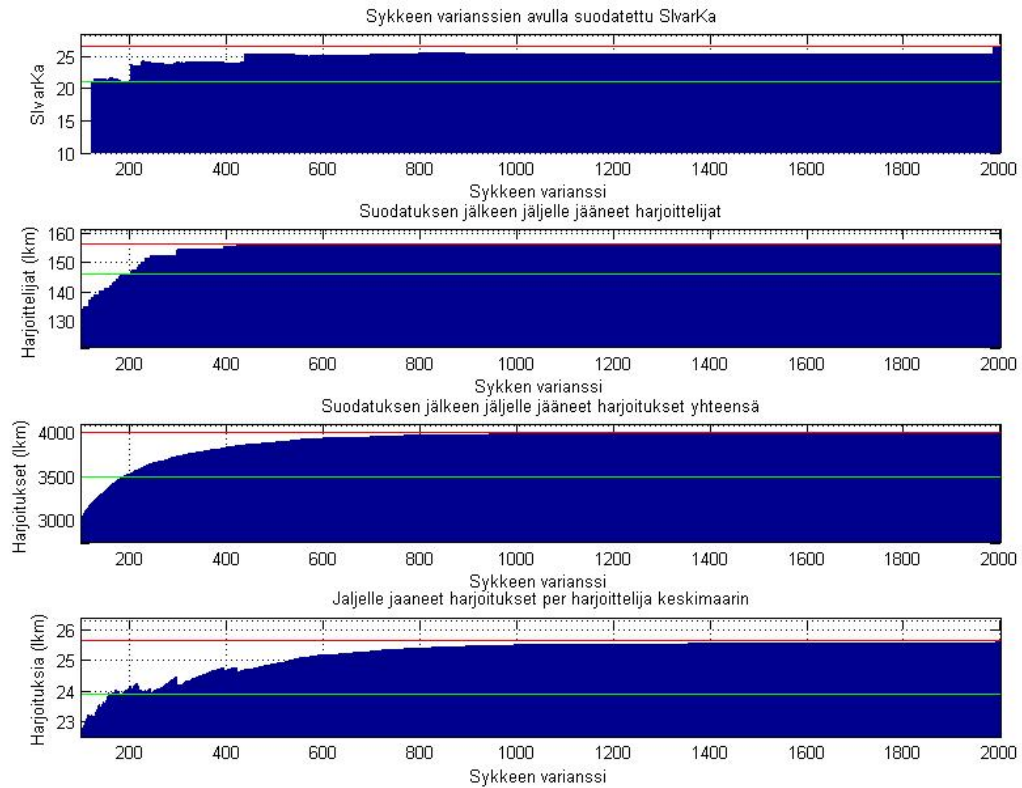
## 7 TULOKSET

Suodatintesteissä havaittiin, että eri ominaisuuksien suodattimet vaikuttavat kukin eri tavalla SIVarKa:oon. Toisilla suodattimilla vaikutusalue on laaja, toisilla taas suppea. Osa suodattimista toimi tehokkaasti laskien SIVarKa:a paljon, kun taas osa suodattimista laski SIVarKa:a vain vähän. Suodatintestien avulla kahdeksan suodattimen joukosta löydettiin viisi tehokasta suodatinta, jotka valittiin optimointiin. Jokaiselle viidelle suodattimelle määritettiin 10 parametriarvoa suodattimen vaikutusalueelta. Optimoinnin avulla SIVarKa:a saatiin pienennettyä 62%.

### 7.1 Suodatintestien tulokset

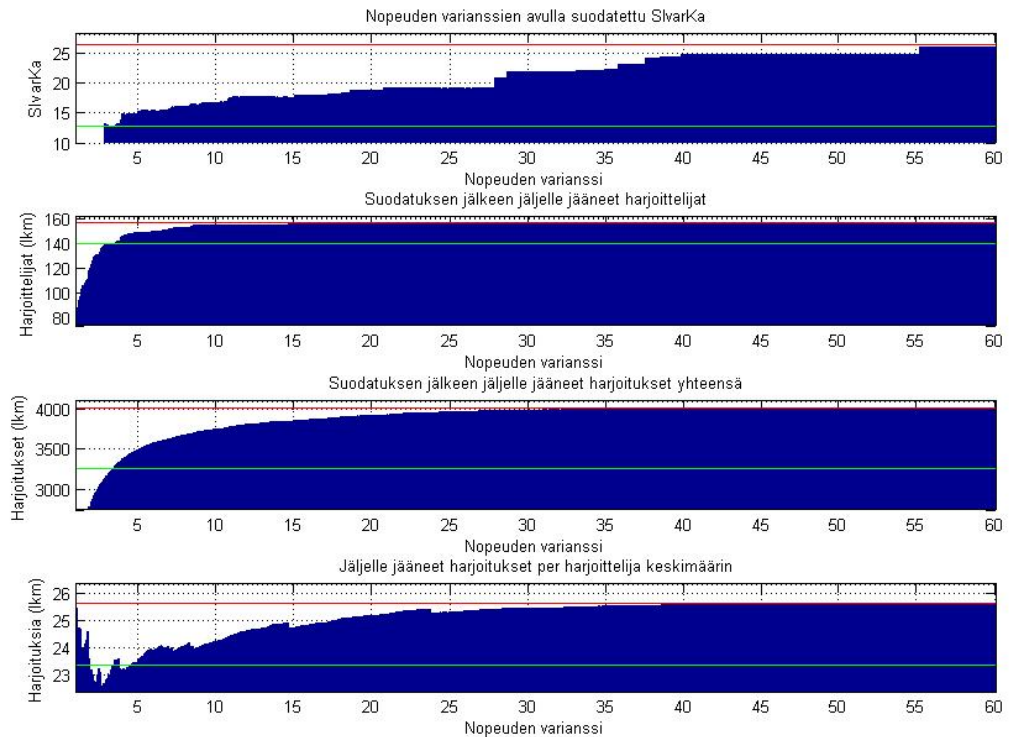
*Sykkeen varianssi.* Kuvassa 9 on esitetty sykkeen varianssisuodattimen tulos. Kuvaajan visuaalisen tarkastelun perusteella voidaan havaita, että suodatin alkaa vaikuttaa SIVarKa:oon, kun varianssiparametrin arvo on 2000. Parametrin arvoilla 2000-450 SIVarKa:ssa ei tapahdu suurta pienenemistä. Suodattimen suurin vaikutusalue on varianssiparametrin arvoilla 180-450, tehokkaimman parametrinarvon ollessa 187. Suodatuksen jälkeen jäljelle jäävien harjoittelijoiden määrä laskee tasaisesti alkaen parametrin arvosta 420 ollen 146 harjoittelijaa tehokkaimman parametrin arvolla. Jäljelle jäävien harjoitusten määrä laskee tasaisesti alkaen parametrin arvosta 1000 ollen 3490 harjoitusta yhteensä ja 23 harjoitusta per harjoittelija tehokkaimman parametrin arvolla.





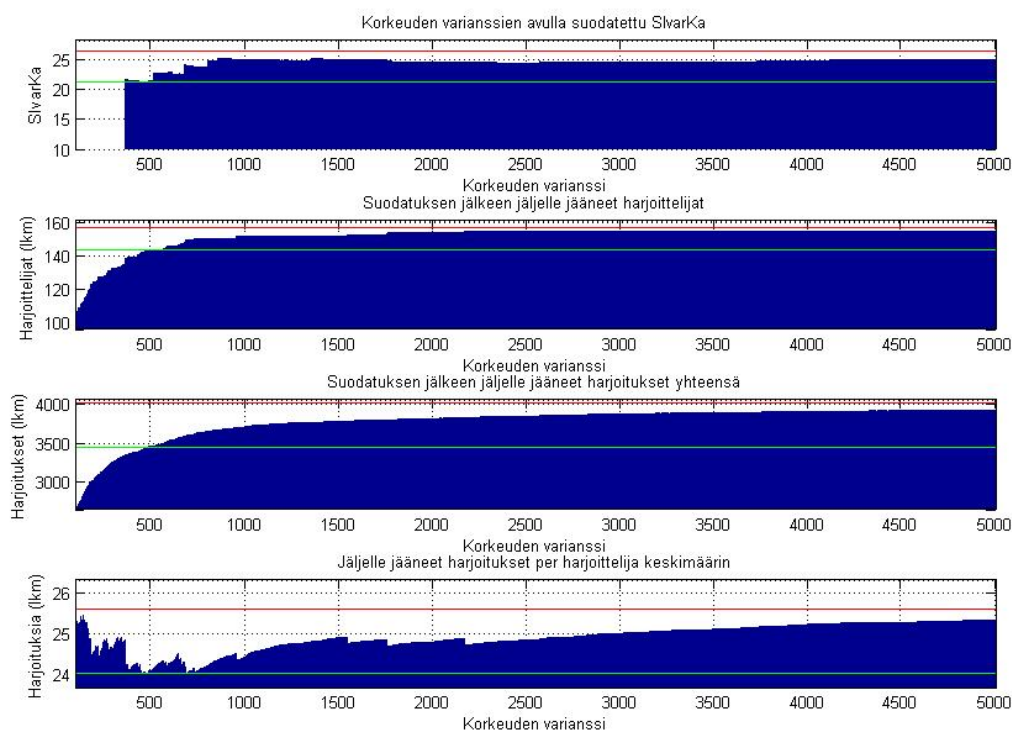
KUVA 9. Sykkeen varianssisuodatus. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIvarKa:n mukaisesti.

*Nopeuden varianssi.* Kuvassa 10 on esitetty nopeuden varianssisuodattimen tulos. Kuvaajan visuaalisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että nopeuden varianssisuodattimen vaikutusalue on laaja ja tasainen, mutta vaihteluväli on pieni. Suodatin alkaa vaikuttaa SIvarKa:oon, kun parametrin arvo on 55. SIvarKa on pienimmillään parametrin arvolla 3,5. Jäljelle jäävien harjoittelijoiden määrä alkaa pienentyä kun parametrin arvo on 7. Jäljelle jääneiden harjoittelijoiden määrän lasku on suurta parametrin arvon välillä 3,5-7. Jäljelle jääneiden harjoitusten määrän lasku on tasaista alkaen parametrin arvosta 27.



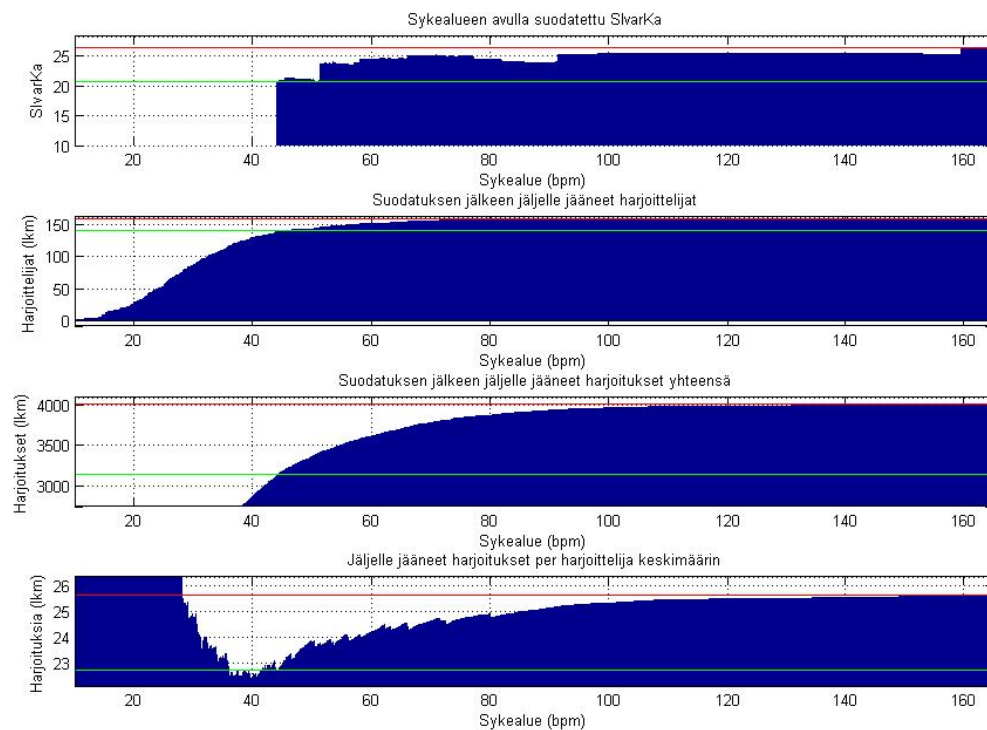
KUVA 10. Nopeuden varianssisuodatin. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIvarKa:n mukaisesti.

*Korkeuden varianssi.* Kuvasta 11 voidaan visuaalisen tarkastelun avulla havaita, että korkeuden varianssisuodattimen vaikutusalue on erittäin laaja verrattuna sykkeen varianssisuodattimeen ja nopeuden varianssisuodattimeen. Korkeuden varianssisuodattimen vaikutus alkaa hyvin suurella parametrin arvolla. Suodattimen suurin vaikutusalue on välillä 500-1000, tehokkaimman parametrin arvon ollessa 484. Jäljelle jääneiden harjoittelijoiden määrä laskee tasaisesti alkaen parametrin arvosta 2200. Jäljelle jääneiden harjoitusten määrä laskee tasaisesti alkaen hyvin suuresta parametrin arvosta SIvarKa:n tapaan.



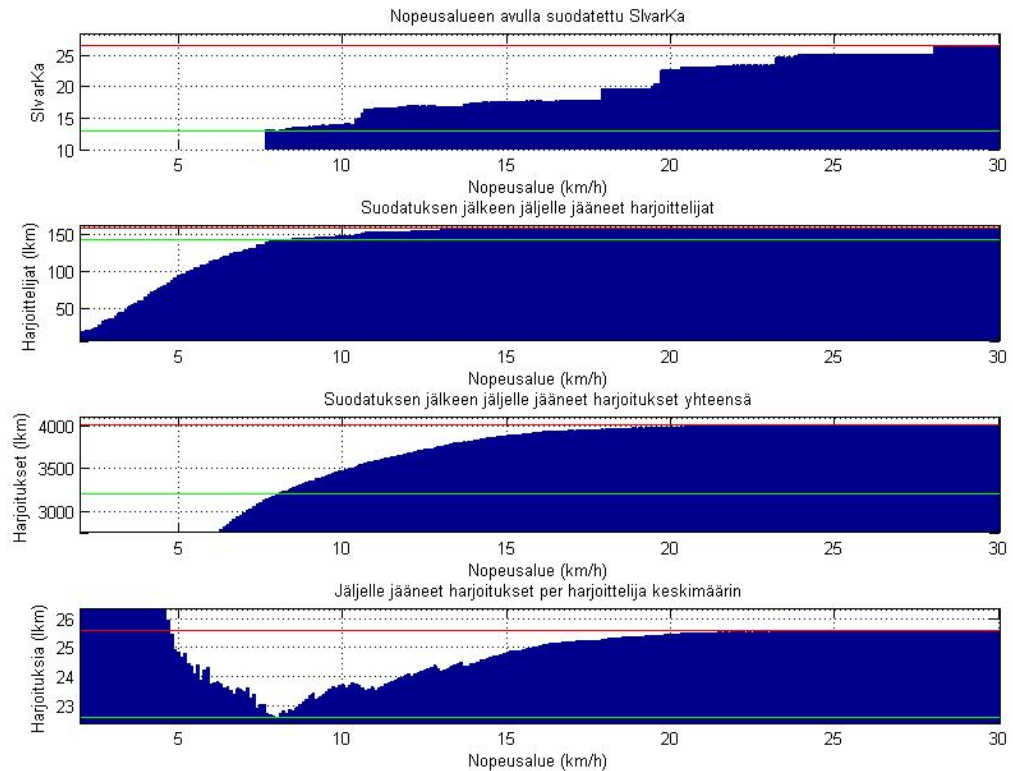
KUVA 11. Korkeuden varianssisuodatin. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötalteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIvarKa:n mukaisesti.

*Sykealue.* Kuvassa 12 esitellyn sykealue-suodattimen vaikutus alkaa, kun parametrin arvo on 160 bpm. Suodattimen varsinainen vaikutusalue on 45-90, missä suodatin on tehokkaimmillaan parametrin arvolla 51 bpm.



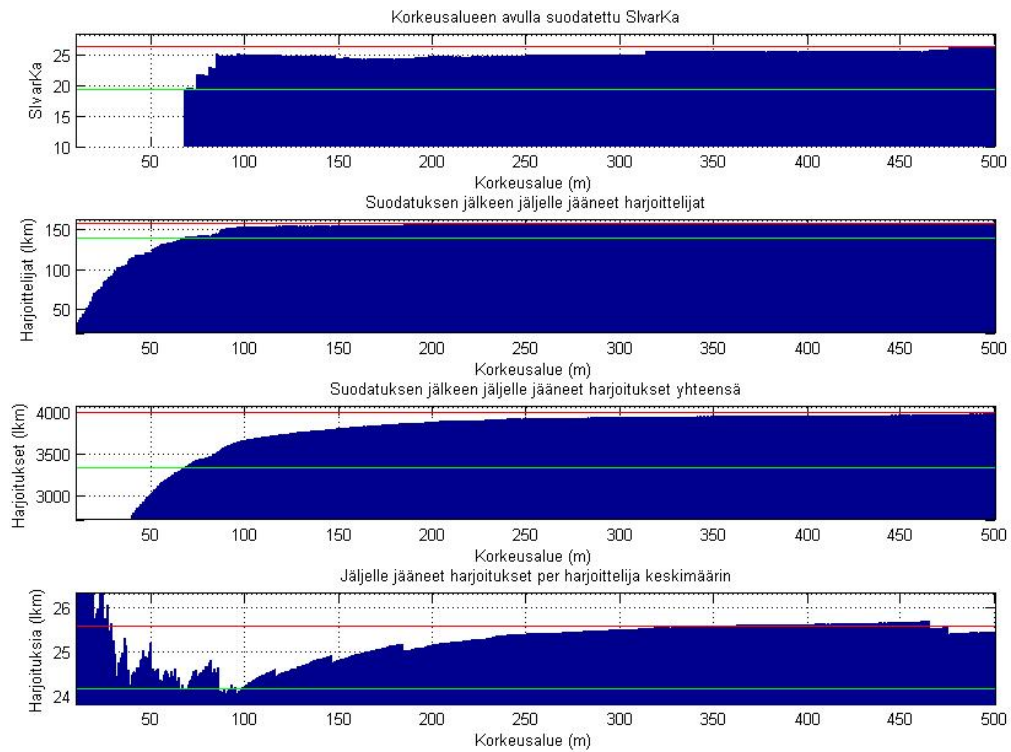
KUVA 12. Sykealuesuodattimen tulos. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SivarkKa:n mukaisesti.

*Nopeusalue.* Kuvassa 13 esitellyn nopeusaluesuodattimen vaikutusalue on laaja ja suodatin on tehokas, vaikka parametrin arvon vaihteluväli on pieni. Vaikutusalue ja tehokkuus ovat samaa luokkaa nopeusvarianssisuodattimen kanssa. Tästä voidaan päätellä, että harjoittelijan nopeusominaisuutta suodattamalla voidaan päästä hyviin tuloksiin. Suodattimen vaikutus alkaa parametrin arvolla 28 km/h ja on tehokkaimmillaan, kun parametrin arvo on 8 km/h.



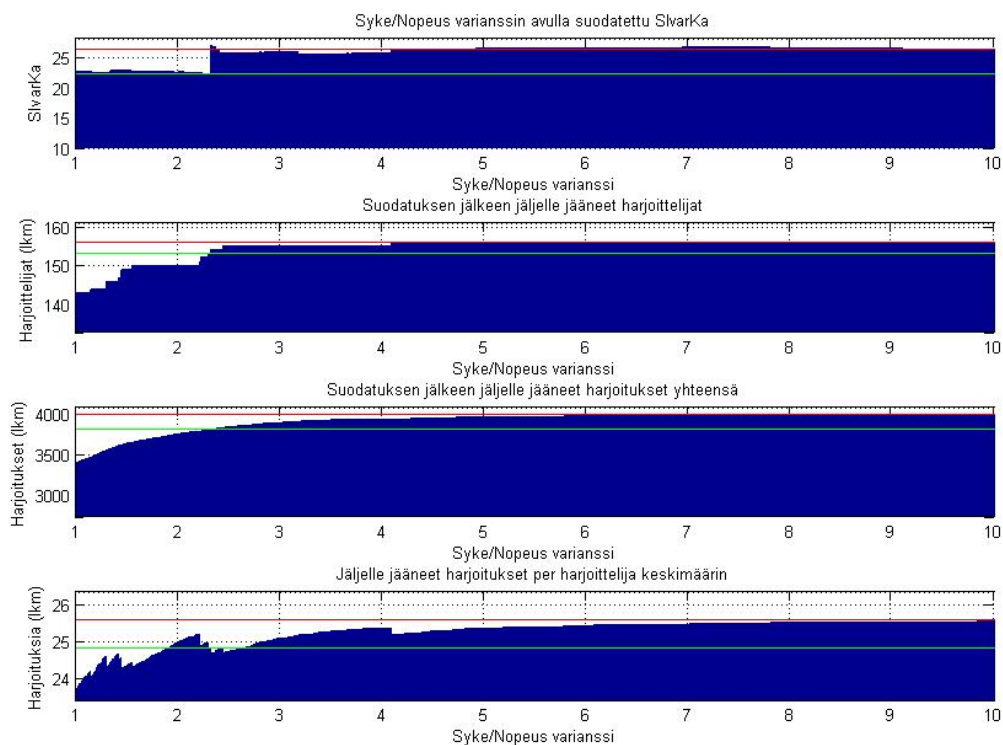
KUVA 13. Nopeusalue-suodattimen tulos. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötalanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIVARKA:n mukaisesti.

*Korkeusalue.* Kuvan 14 mukaisen korkeusalue-suodattimen vaikutusalue on hyvin laaja samoin kuin korkeuden varianssisuodattimellakin. Varsinainen tehokkaan vaikutuksen alue on parametrien arvoilla 60-90 m, joka on kuitenkin suppea verrattuna siihen alueeseen, millä suodatin alkaa vaikuttaa. Molempien korkeusominaisuutta hyödyntävien suodattimien teho SIVARKA:oon on pieni verrattuna nopeusominaisuutta hyödyntäviin suodattimiin.



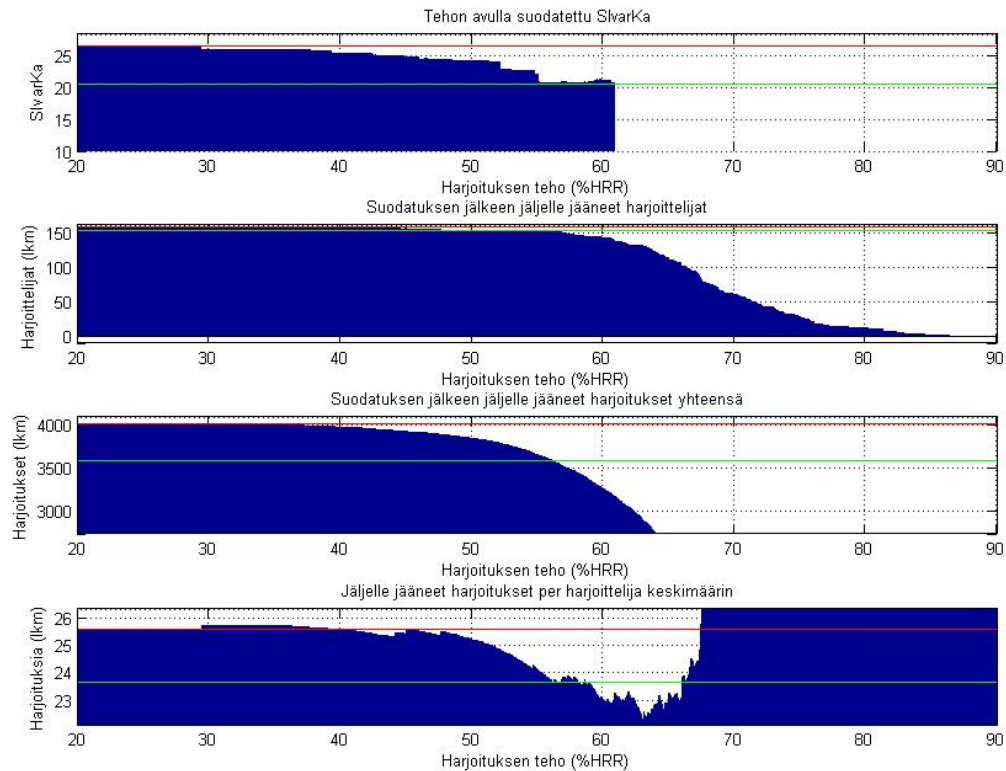
KUVA 14. Korkeusalue-suodattimen tulos. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIVarKa:n mukaisesti.

*Syke-nopeus-variassi.* Kuvan 15 syke-nopeus-variassisuodattimen teho on heikko. Sykkeen ja nopeuden osamäärän varianssin arvo on hyvin pieni, eikä suodattimen teho kasva suureksi. Parametrin arvolla 2,3 SIVarKa:ssa tapahtuu selvä pudotus, mutta tämän jälkeen SIVarKa ei pienene, vaikka parametrin arvo pienenee.



KUVA 15. Syke-nopeus-varianssisuodattimen tulos. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIvarKa:n mukaisesti.

*Teho.* Kuvassa 16 on esitelty harjoituksen tehosuodattimen tulos. Tehoparametrin arvo ei pääse kovin suureksi ennen kuin vaatimus harjoittelijoiden ja harjoitusten jäljelle jäämisestä ei enää toteudu, mikä viittaa siihen, että otoksen harjoittelijoista alle 10% harjoittelee usein yli 60% teholla HRR:stä. SIvarKa on pienimmillään harjoitustehon ollessa 55-60%, millä välillä SIvarKa on myös tasainen.



KUVA 16. Harjoituksen tehosuodattamisen tulos. Punainen viiva osoittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIVarKa:n mukaisesti.

## 7.2 Optimointiin valitut suodattimet

Taulukossa 2 on esitelty suodatintestien tulokset. Testeissä onnistuttiin löytämään 5 ominaisuutta, joilla oli tehokas vaikutus SIVarKa:oon. Näiden ominaisuuksien suodattimet valittiin optimointiin. Suodattimen ja suodatinparametrin tehoa kuvaa prosenttiosuus, joka alkuperäisestä SIVarKa:sta jäi jäljelle pienimmillään. Taulukosta 2 voidaan nähdä, että pienimmät SIVarKa:t saatiin nopeuden varianssi-, nopeusalue-, korkeusalue-, harjoituksen teho- ja sykkeen varianssisuodattimilla.



## TAULUKKO 2. Suodatintestien tulokset.

Suodatin	Tehokkaimman parametrin arvo	Suodatettu SIvarKa	Jäljelle jäänyt osuus alkup. SIvarKa:sta (%)	Jäljelle jääneet harjoittelijat (lkm)	Jäljelle jääneet harjoitukset (lkm)	Jäljelle jääneet harjoitukset per harjoittelija (lkm)
Sykkeen varianssi	187	20,85	79%	146	3490	23,90
Nopeuden varianssi	3,5	12,87	49%	139	3278	23,58
korkeuden varianssi	484	21,15	80%	143	3440	24,06
Sykealue (bpm)	51	20,73	79%	143	3395	23,74
Nopeusalue (km/h)	8	12,98	49%	141	3192	22,64
Korkeusalue (m)	68	19,29	73%	138	3339	24,20
Syke/nopeus varianssi	0,88	22,24	85%	141	3300	23,40
Harjoituksen teho (%HRR)	56,2	20,41	78%	151	3576	23,68

### 7.3 Suodatinparametrien valinta optimointiin

Suodattimien optimointiin valittiin kappaleessa 6 esitellyllä menetelmällä taulukossa 3 esitetyt suodatinparametrien arvot.

## TAULUKKO 3. Optimointiin valitut suodatinparametrien arvot.

Suodatinparametrien arvot					
Parametrinumero	sykevarianssi	Nopeusvarianssi	Korkeusalue (m)	Nopeusalue (km/h)	Teho (%HRR)
1	187	3,5	68	8	56,2
2	220	7	72	9	54
3	253	10	76	11	52
4	286	13	80	12	50
5	319	17	84	13	48
6	351	20	88	14	46
7	384	23	92	16	44
8	417	27	96	17	42
9	450	30	100	18	40
10	2000	57	500	30	28

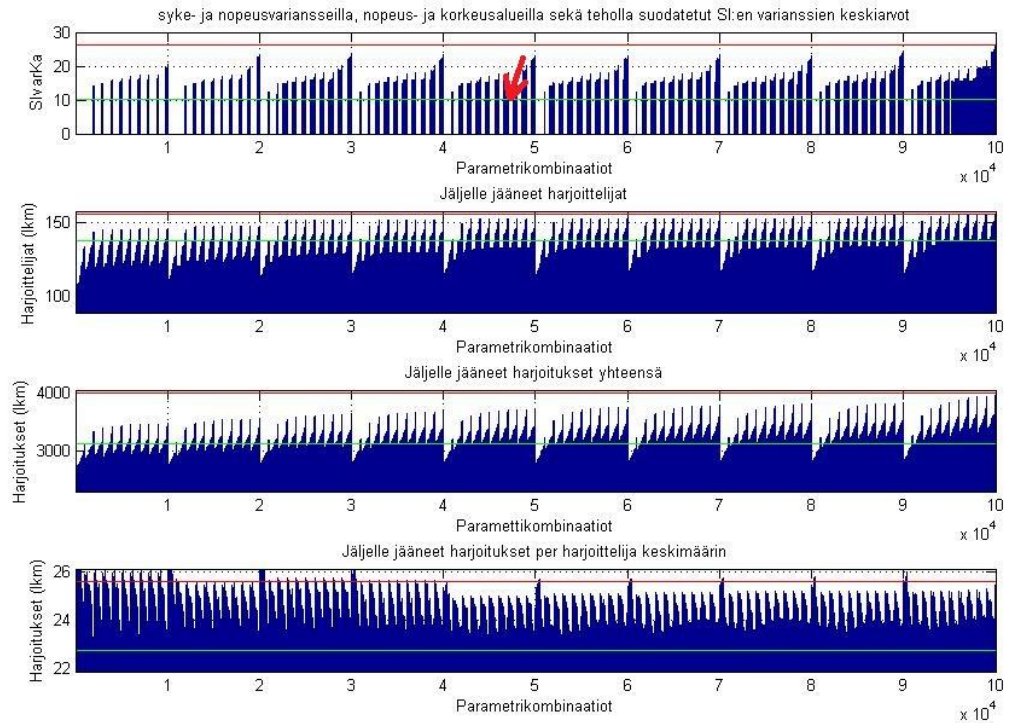
## 7.4 Optimoinnin tulokset

Taulukosta 4 voidaan nähdä ne suodatinparametrien arvot, joilla optimoinnin tuloksena SIvarKa on pienimmillään.

TAULUKKO 4. Optimoinnin tulos

sykeva- rianssi	nopeusva- rianssi	Korkeus- alue (m)	Nopeus- alue (km/h)	Teho (%HRR)	SIvarKa	SIvarKa (%)	Harjoit- telijat (lkm)	Harjoi- tukset (lkm)	Harjoitukset per Harjoittelja (lkm)
319	7	500	13	56,2	10,04	38%	138	3134	22,71

Kuvan 17 kuvaajan vaaka-akselilla on järjestyksessä kaikki 100 000 eri parametrikombinaatiota, jotka viiden suodattimen ja 10 eri parametriarvon optimoinnilla saadaan. Nuoli osoittaa sen parametrikombinaation järjestysnumeron (42943), jolla paras optimointitulos eli pienin SIvarKa saatiin. SIvarKa pieneni 62% eli 26:sta 10:een.



KUVA 17. Optimoinnin tulos. Punainen viiva soittaa suodattamattoman lähtötilanteen. Vihreä viiva osoittaa suodatuksen tuloksen pienimmän SIvarKa:n mukaisesti.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää päivittäistä suoritustasoa, aerobista kuntoa ja juoksun taloudellisuutta ilmaisevan suorituskykyindeksin toistettavuutta sekä niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat toistettavuuteen. Suorituskykyindeksi perustuu juoksun aikana mitattuihin syke-, nopeus- ja korkeusnäytteisiin, mikä tarkoittaa sitä, että myös sykkeeseen ja juoksunopeuteen vaikuttavat ulkoiset ja sisäiset tekijät vaikuttavat siihen.

Tutkimuksen päätuloksena löydettiin suorituskykyindeksiin vaikuttavia tekijöitä. Yksittäisistä tekijöistä juoksunopeudella oli suurin vaikutus suorituskykyindeksiin. Seuraavaksi eniten vaikutusta oli korkeuden vaihteluvälillä, jonka jälkeen eniten vaikuttivat harjoituksen teho ja sykkeen varianssi. Suorituskykyindeksin toistettavuuden tunnusluku SIvarKa pieneni vaikuttavien tekijöiden perusteella kehitettyjen suodattimien optimoinnin tuloksena 62%.

Aiemmissä tutkimuksissa sisäisten tekijöiden vaikutuksista sykkeeseen Lambertin ym. (1998) mukaan jokainen kehon painosta nestehukan myötä menetetty 1% nostaa sykettä arviolta seitsemän sykettä minuutissa. Tällä perusteella juoksijan nestetasapaino vaikuttaa suorituskykyindeksiin. (Lambert ym. 1998.) Riittämätön harjoittelu yhdessä liian pitkien palautumisjaksojen kanssa saattaa johtaa hidastuneeseen harjoitusadaptaatioon (Neufer 1989). Myös liiallinen harjoittelu on haitallista adaptaation kannalta, ja voi johtaa ylikuntoilaan jossa, autonomisen hermoston toiminta muuttuu, mikä vaikuttaa sykkeeseen (Kellmann 2010) ja sitä kautta suorituskykyindeksiin. Sykkeen päivittäinenkin vaihtelu kontrolloiduissa submaksimaalisissa olosuhteissa on keskimäärin kuusi lyöntiä, mikä on yleisesti ottaen vähemmän kuin submaksimaalisen harjoittelun mukanaan tuoma sykkeen madaltuminen (Lambert ym. 1998). Submaksimaalisen kuormituksen aikainen syke siis laskee kestävyysharjoittelun seurauksena. Maksimaalisen kuormituksen aikainen syke joko laskee hieman tai pysyy samana harjoittelun jälkeen. Harjoittelusta seuraavan sykkeen palautumisaika lyhenee kestävyysharjoittelun seurauksena. Näiden ilmiöiden avulla voidaan seurata kunnon kasvun edistymistä. (Willmore & Costill 2004, 274-287.) Harjoittelijan kunnon kehityksen myötä myös

harjoittelijan suorituskykyindeksi kehittyy paremmaksi, mikä vaikuttaa sen toistettavuuden tutkimiseen.

Harjoitteluvasteen suuruus on riippuvainen harjoittelun kestosta, tehosta, säännöllisyydestä, harjoittelijan lähtötasosta, perimästä, iästä ja sukupuolesta (Pierce ym. 1990). Se miten harjoitellaan, vaikuttaa myös sykkeeseen ja suorituskykyindeksiin. Maksimaalinen ja submaksimaalinen suorituskyky alkaa heiketä viikkojen sisällä harjoittelun lopettamisesta. (Neufer 1989.) Kevennysmenetelmää käyttävät urheilijat saavuttavat merkitseviä parannuksia suorituskyvyssä (0,5-7%). (Houmard ym. 1994.) Urheilijan syke suorituksen aikana saattaa näin ollen vaihdella sen mukaisesti, onko hänellä meneillään kevennetty harjoittelujakso vai kovan harjoittelun kausi, mikä vaikuttaa suorituskykyindeksiin.

Tämä tutkimus perustui harjoitustietokannan analysointiin, mikä toi mukanaan omat haasteensa verrattuna interventioihin perustuviin tutkimuksiin, joissa koeasetelma voidaan määrittellä halutun mukaiseksi. Tutkimuksen aikana ei tullut esiin muita tutkimuksia, jotka olisivat hyödyntäneet harjoitustietokanta-analysointia. Tässä valossa tutkimus on ainutkertainen ja hyödyllinen niille, jotka suunnittelevat vastaavanlaisia tutkimuksia.

Tutkimuksen rajoittava tekijä oli se, että harjoitustietokantaan ei ollut tallennettu sellaista tietoa, joka suoraan kertoisi harjoittelijan sisäisten tekijöiden vaikutuksesta harjoituksesta tallennettuun dataan. Harjoittelijan harjoitushistorian datasta voidaan toisaalta päätellä monia sisäisesti vaikuttavia tekijöitä. Harjoittelijan harjoituskuormaa ja sen vaikutusta sykkeeseen voidaan tutkia harjoittelijan harjoitustiheyden, -keston ja -tehon avulla kaikki harjoittelijan harjoittamat urheilulajit huomioon ottaen. Toisaalta ei voida tietää, mitä harjoittelua ja aktiiviteettia oli jäänyt tallentamatta harjoitustietokantaan harjoittelijan tekemien valintojen seurauksena.

Tämän tutkimuksen toinen rajoittava tekijä oli se, että harjoittelijat ovat voineet tahattomasti ja välinpitämättömyyttään tuottaa väärää tietoa harjoittelusta. Tyypillisiä tällaisia tilanteita ovat muun muassa ne, joissa harjoittelija on merkinnyt juoksuksi jotain muuta urheilulajia

olevan harjoituksen kuin juoksun tai kun harjoittelija on juoksuharjoituksen päätteeksi lähtenyt ajamaan autoa ilman, että on ensin lopettanut harjoitusdatan tallennuksen aiheuttaen juoksuharjoituksen loppuun fysiologisesti mahdottomia juoksunopeuksia. Näistä syistä johtuen harjoituskuorman vaikutus SIvarKa:oon rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Aiempien tutkimusten mukaan ulkoisista tekijöistä lämpötilastressi nostaa sykettä levossa ja submaksimaalisissa suorituksissa (Kamon & Belding 1971) johtuen muun muassa veren kohonneesta lämpötilasta eteissolmukkeessa ja autonomisen hermoston aktiivisuusmuutoksesta (Gorman & Proppe 1984). Fritzschen ym. (1999) mukaan kohonnut ydinlämpötila on voimakkaasti yhteydessä kohonneeseen sykkeeseen (Fritzsche ym. 1999). Tässä tutkimuksessa harjoituksen aikainen suoritusympäristön lämpötila tai harjoittelijan kehon lämpötila eivät olleet käytettävissä ulkoisia ja sisäisiä tekijöitä analysoitaessa. Jatkotutkimusaiheena tuotekehityksen näkökulmasta ulkoisen ja sisäisen lämpötilan vaikutus suorituskykyindeksiin olisi mielenkiintoinen.

Aiempien tutkimusten mukaan juoksunopeuden ja sykkeen välinen yhteys on suhteellisen lineaarinen aina sykkeen poikkeamispisteeseen saakka (Bodner & Rhodes 2000). Tämä voi vaikuttaa suorituskykyindeksin tarkkuuteen, mikäli se ei ota riittävän hyvin huomioon HRDP:tä. Boudet ym. (2004) tutkivat sykkeen ja juoksunopeuden välistä yhteyttä korkealla intensiteetillä yhtäjaksoisessa suorituksessa juoksumatolla ja päätyivät tulokseen, jossa syke ja juoksunopeus eivät ole keskenään vaihdettavissa olevia muuttujia. Tässä tutkimuksessa sykkeen varianssisuodattimen avulla SIvarKa pieneni 21%. Sykeominaisuudet on otettu paremmin huomioon suorituskykyindeksissä kuin nopeusominaisuudet, joista johdetuista suodattimista tehokkain oli nopeuden varianssisuodatin yhdessä nopeusalue-suodattimen kanssa. Näillä molemmilla suodattimilla SIvarKa:sta saatiin suodatettua pois 51%. Juoksunopeudesta johdetuilla tekijöillä oli siis suurin vaikutus SIvarKa:oon. Esianalyysivaiheessa SIvarKa pieneni, kun harjoitusten joukosta suodatettiin pois ne harjoitukset, jotka eivät nopeuden minuuttikeskiarvojen perusteella olleet fysiologisesti mahdollisia. Tällä perusteella suorituskykyindeksin laskentaa on mahdollista kehittää ottamalla juoksunopeus entistä paremmin huomioon.

Juoksuharjoituksen korkeuseroja käsittelevissä aiemmissa, muun muassa Paavolaisen ym. (2000), tutkimuksissa kaikki koehenkilöt saavuttivat suuremman  $VO_2\text{max}$ -arvon 7° kulmassa, vaikka juoksuvauhdit olivat pienemmät nousukulmassa juostessa (Paavolainen ym. 2000). Pivarnikin ja Shermanin (1990) tutkimuksen mukaan juostessa (9,6 km/h) sekä  $VO_2$  että syke nousivat merkitsevästi nousukulmaa kasvatettaessa (Pivarnik & Sherman 1990). Näissä tutkimuksissa tutkijat päättelivät, että juoksun taloudellisuus vaihteli juoksumaton eri nousukulmien välillä, mikä edelleen vaikuttaa sykkeen ja nopeuden väliseen suhteeseen. Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä näytteenottovälein tallennetut barometrin avulla mitatut maaston korkeusnäytteet. Analysoitaessa korkeusnäytteiden minuuttikeskiarvojen varianssin ja korkeuden vaihteluvälin vaikutusta SIvarKa:oon havaittiin, että korkeusominaisuuteen perustuvat suodattimet eivät ole yhtä tehokkaita kuin nopeusominaisuuteen perustuvat suodattimet. Korkeusalue-suodattimella SIvarKa saatiin pienennettyä 27%. Tästä voidaan päätellä, että suorituskykyindeksi ottaa korkeusvaihtelut hyvin huomioon.

Suodattimien optimointiin valittujen viiden tehokkaimman suodattimen yhteisteho oli suurempi kuin yhdenkään suodattimen teho yksinään. Suodattimien optimoinnin avulla määritellyissä vakio-olosuhteissa SIvarKa oli alimmillaan 10,0, jonka neliöjuuri ilmaisee suorituskykyindeksin keskimääräisen keskihajonnan olevan 3,2. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että aiempien kuntotesteistä suoritettujen luotettavuus- ja tarkkuustutkimusten valossa (Grant ym. 1995; Hopkins 2000; Eng ym. 2004) tässä tutkimuksessa tutkitun suorituskykyindeksin toistettavuus on erinomainen vakioiduissa olosuhteissa, kun otetaan vielä huomioon suorituskykyindeksin harjoitustietokannasta johtuvat mittausolosuhteiden vakioimisen rajoitteet.

## 9 LÄHTEET

- Alanko, M. & Salo, I. 2013. Big Data Suomessa. Liikenne- ja viestintäministeriö. 25-2013. Viitattu 24.4.2015. [www.lvm.fi/julkaisu/4156840](http://www.lvm.fi/julkaisu/4156840).
- Bassett, D. R., Jr & Howley, E. T. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (1), 70-84.
- Bodner, M. E. & Rhodes, E. C. 2000. A review of the concept of the heart rate deflection point. *Sports Medicine* 30 (1), 31-46.
- Bosquet, L., Léger, L. & Legros, P. 2002. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Medicine* 32 (11), 675-700.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Perusse, L., Leon, A. S. & Rao, D. C. 1999. Familial aggregation of VO<sub>2</sub>(max) response to exercise training: results from the heritage Family Study. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 87 (3), 1003-1008.
- Boudet, G., Albuissou, E., Bedu, M. & Chamoux, A. 2004. Heart rate performance speed relationships during exhaustive bouts in the laboratory. *Canadian journal of applied physiology* 29 (6), 731-742.
- Boutellier, U., Deriaz, O., di Prampero, P. E. & Cerretelli, P. 1990. Aerobic performance at altitude: effects of acclimatization and hematocrit with reference to training. *International Journal of Sports Medicine* 11 Suppl 1, S21-6.
- Brenner, I. K., Thomas, S. & Shephard, R. J. 1998. Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. Inferences from heart rate variability. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 26 (2), 85-99.
- Brooks, G. A. & Mercier, J. 1994. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 76 (6), 2253-2261.
- Campbell, M. K. & Farrell, S. O. 2006. *Biochemistry*. (5th , international student edition) Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole, Mary K. Campbell, Shawn O. Farrell.
- Carter, H., Jones, A. M. & Doust, J. H. 1999. Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *Journal of sports sciences* 17 (12), 957-967.



- Cavanagh, P. R. & Kram, R. 1989. Stride length in distance performance: velocity, body dimensions, and added mass effects. *Medicine and science in sports and exercise* 21 (4), 467-479.
- Cavanagh, P. R. & Williams, K. R. 1982. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance performance. *Medicine and science in sports and exercise* 14 (1), 30-35.
- Conley, D. L. & Krahenbuhl, G. S. 1980. Performance economy and distance performance of highly trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise* 12 (5), 357-360.
- Cooper, K. H. 1968. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA: the journal of the American Medical Association* 203 (3), 201-204.
- Coyle, E. F. & Gonzalez-Alonso, J. 2001. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. *Exercise and sport sciences reviews* 29 (2), 88-92.
- Creagh, U., Reilly, T. & Nevill, A. M. 1998. Heart rate response to "off-road" performance events in female athletes. *British journal of sports medicine* 32 (1), 34-38.
- Currell, K. & Jeukendrup, A. E. 2008. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 38 (4), 297-316.
- Davies, C. T. 1980. Effects of wind assistance and resistance on the forward motion of a runner. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology* 48 (4), 702-709.
- Davies, C. T. 1968. Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *Journal of applied physiology* 24 (5), 700-706.
- Ehsani, A. A., Ogawa, T., Miller, T. R., Spina, R. J. & Jilka, S. M. 1991. Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation* 83 (1), 96-103.
- Ekelund, L. G. 1967. Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise of moderate intensity in the sitting position. *Acta Physiologica Scandinavica* 69 (4), 327-340.
- Eng, J. J., Dawson, A. S. & Chu, K. S. 2004. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85 (1), 113-118.
- Fagard, R. H. 1996. Athlete's heart: a meta-analysis of the echocardiographic experience. *International Journal of Sports Medicine* 17 Suppl 3, S140-4.

- Fritzsche, R. G., Switzer, T. W., Hodgkinson, B. J. & Coyle, E. F. 1999. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 86 (3), 799-805.
- Gavin, T. P., Babington, P. J., Harms, C. A., Ardelt, M. E., Tanner, D. A. & Stager, J. M. 2001. Clothing fabric does not affect thermoregulation during exercise in moderate heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise* .
- Gollnick, P. D., Armstrong, R. B., Saubert, C. W., Piehl, K. & Saltin, B. 1972. Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *Journal of applied physiology* 33 (3), 312-319.
- Gonzalez-Alonso, J., Mora-Rodriguez, R., Below, P. R. & Coyle, E. F. 1997. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 82 (4), 1229-1236.
- Gorman, A. J. & Proppe, D. W. 1984. Mechanisms producing tachycardia in conscious baboons during environmental heat stress. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology* 56 (2), 441-446.
- Grant, S., Corbett, K., Amjad, A. M., Wilson, J. & Aitchison, T. 1995. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *British journal of sports medicine* 29 (3), 147-152.
- Hakkarainen, H., Jaakkola, T., Kalaja, S., Lämsä, J., Nikander, A. & Riski, J. 2009. Lasten ja nuorten urheiluvammennuksen perusteet. Lahti: VK-Kustannus.
- Hardin, E. C., van den Bogert, A. J. & Hamill, J. 2004. Kinematic adaptations during performance: effects of footwear, surface, and duration. *Medicine and science in sports and exercise* 36 (5), 838-844.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjørth, N., Bach, R. & Hoff, J. 2007. Aerobic high-intensity intervals improve  $\text{VO}_2\text{max}$  more than moderate training. *Medicine and science in sports and exercise* 39 (4), 665-671.
- Hermansen, L. & Wachtlova, M. 1971. Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. *Journal of applied physiology* 30 (6), 860-863.
- Hopkins, W. G. 2000. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine* 30 (1), 1-15.
- Houmard, J. A., Scott, B. K., Justice, C. L. & Chenier, T. C. 1994. The effects of taper on performance in distance runners. *Medicine and science in sports and exercise* 26 (5), 624-631.

- Huber, F. E. & Wells, C. L. 2006. Therapeutic exercise: Treatment planning for progression. Saunders Elsevier.
- 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 and science in sports and exercise* 22 (6), 863-870.
- Jackson, C. G. & Sharkey, B. J. 1988. Altitude, training and human performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 6 (5), 279-284.
- Jones, A. M. & Carter, H. 2000. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 29 (6), 373-386.
- Kamon, E. & Belding, H. S. 1971. Heart rate and rectal temperature relationships during work in hot humid environments. *Journal of applied physiology* 31 (3), 472-477.
- Kellmann, M. 2010. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20 Suppl 2, 95-102.
- Kerdok, A. E., Biewener, A. A., McMahon, T. A., Weyand, P. G. & Herr, H. M. 2002. Energetics and mechanics of human performance on surfaces of different stiffnesses. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 92 (2), 469-478.
- Keskinen, K. L., Häkkinen, K., Kallinen, M. & Aho, J. 2007. *Kuntotestauksen käsikirja*. (2. uud. p. edition) Helsinki: Liikuntatieteellinen seura.
- Kiens, B. 1997. Effect of endurance training on fatty acid metabolism: local adaptations. *Medicine and science in sports and exercise* 29 (5), 640-645.
- Konopka, A. R. & Harber, M. P. 2014. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exercise and sport sciences reviews* 42 (2), 53-61.
- Kyle, C. R. & Caiozzo, V. J. 1986. The effect of athletic clothing aerodynamics upon performance speed. *Medicine and science in sports and exercise* 18 (5), 509-515.
- Lambert, M. I., Mbambo, Z. H. & St Clair Gibson, A. 1998. Heart rate during training and competition for long-distance performance. *Journal of sports sciences* 16 Suppl, S85-90.
- Lange Andersen, K., Shephard, R. J., Denolin, H., Varnauskas, E. & Masironi, R. 1971. *Fundamentals of exercise testing*. Geneva: WHO.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. 2002. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine* 32 (1), 53-73.

- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C. & Lambert, J. 1988. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of sports sciences* 6 (2), 93-101.
- Londeree, B. R. 1997. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise* 29 (6), 837-843.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2007. *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. (6th edition) Philadelphia Pa.: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mole, P. A. & Coulson, R. L. 1985. Energetics of myocardial function. *Medicine and science in sports and exercise* 17 (5), 538-545.
- Montain, S. J. & Coyle, E. F. 1992. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 73 (4), 1340-1350.
- Mora-Rodriguez, R. & Hamouti, N. 2012. Salt and fluid loading: effects on blood volume and exercise performance. *Medicine and sport science* 59, 113-119.
- Morgan, D. W., Martin, P. E. & Krahenbuhl, G. S. 1989. Factors affecting performance economy. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 7 (5), 310-330.
- Neufer, P. D. 1989. The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports medicine* (Auckland, N.Z.) 8 (5), 302-320.
- Nummenmaa, L. 2004. *Käyttätymistieteiden tilastolliset menetelmät*. Turku: Turun yliopiston psykologian laitos.
- Oja, P., Mänttari, A., Laukkanen, R. & Parkkari, J. 2001. Validity of the self-administered UKK Walk Test for predicting VO<sub>2</sub>max. 6th Annual Congress of the European College of Sport Science .
- Paavolainen, L., Nummela, A. & Rusko, H. 2000. Muscle power factors and VO<sub>2</sub>max as determinants of horizontal and uphill performance performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 10 (5), 286-291.
- Perusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Rao, D. C., Wilmore, J. H., Leon, A. S., Bouchard, C. & Skinner, J. S. 2001. Familial aggregation of submaximal aerobic performance in the heritage Family study. *Medicine and science in sports and exercise* 33 (4), 597-604.
- Pierce, E. F., Weltman, A., Seip, R. L. & Snead, D. 1990. Effects of training specificity on the lactate threshold and VO<sub>2</sub> peak. *International Journal of Sports Medicine* 11 (4), 267-272.

- Pivarnik, J. M. & Sherman, N. W. 1990. Responses of aerobically fit men and women to uphill/downhill walking and slow jogging. *Medicine and science in sports and exercise* 22 (1), 127-130.
- Pizza, F. X., Flynn, M. G., Duscha, B. D., Holden, J. & Kubitz, E. R. 1995. A carbohydrate loading regimen improves high intensity, short duration exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition* 5 (2), 110-116.
- Poikola, A., Kuikkaniemi, A. & Kuittinen, O. 2014. My Data - johdatus ihmiskeskeiseen henkilötiedon hyödyntämiseen. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2014/2014. Viitattu 25.4.2015. [www.lvm.fi/julkaisu/4420389](http://www.lvm.fi/julkaisu/4420389).
- Pugh, L. G. 1970. Oxygen intake in track and treadmill performance with observations on the effect of air resistance. *The Journal of physiology* 207 (3), 823-835.
- Reis, V. M., den Tillaar, R. V. & Marques, M. C. 2011. Higher Precision of Heart Rate Compared with VO<sub>2</sub> to Predict Exercise Intensity in Endurance-Trained Runners. *Journal of sports science & medicine* 10 (1), 164-168.
- Rowell, L. B. 1986. *Human circulation: regulation during physical stress*. New York: Oxford University Press.
- Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D. & Hawley, J. A. 2004. Factors affecting performance economy in trained distance runners. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 34 (7), 465-485.
- Slordahl, S. A., Madslie, V. O., Stoylen, A., Kjos, A., Helgerud, J. & Wisloff, U. 2004. Atrioventricular plane displacement in untrained and trained females. *Medicine and science in sports and exercise* 36 (11), 1871-1875.
- Stone, M., Keith, R., Kearney, J., Fleck, S., Wilson, G. & Triplett, N. 1991. Overtraining: a review of the signs, symptoms and possible causes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 5 (1), 35-50.
- Tanaka, H., Monahan, K. D. & Seals, D. R. 2001. Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology* 37 (1), 153-156.
- Törrönen, K. 2006. *Solubiologia*. Viitattu 25.8.2014. [www.solunetti.fi/fi/solubiologia/](http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/).
- Tulppo, M. P., Makikallio, T. H., Takala, T. E., Seppanen, T. & Huikuri, H. V. 1996. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *The American Journal of Physiology* 271 (1 Pt 2), H244-52.
- Urhausen, A. & Kindermann, W. 2002. Diagnosis of overtraining. *Sports medicine* 32 (2), 95-102.

- Urhausen, A. & Kindermann, W. 1999. Sports-specific adaptations and differentiation of the athlete's heart. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 28 (4), 237-244.
- Uth, N., Sorensen, H., Overgaard, K. & Pedersen, P. K. 2004. Estimation of VO<sub>2</sub>max from the ratio between HRmax and HRrest--the Heart Rate Ratio Method. *European journal of applied physiology* 91 (1), 111-115.
- Vachon, J. A., Bassett Jr, D. R. & Clarke, S. 1999. Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during performance. *Journal of applied physiology* 87 (1), 452-459.
- Whaley, M. H., Kaminsky, L. A., Dwyer, G. B., Getchell, L. H. & Norton, J. A. 1992. Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate. *Medicine and science in sports and exercise* 24 (10), 1173-1179.
- Whaley, M. H. & American College of Sports Medicine 2006. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. (7th edition) Philadelphia Pa.: Lippincott Williams & Wilkins.
- Williams, C. G., Bredell, G. A., Wyndham, C. H., Strydom, N. B., Morrison, J. F., Peter, J., Fleming, P. W. & Ward, J. S. 1962. Circulatory and metabolic reactions to work in heat. *Journal of applied physiology* 17, 625-638.
- Willmore, J. H. & Costill, D. L. 2004. *Physiology Of Sport And Exercise*. (3rd edition edition) Leeds, United Kingdom: Human Kinetics.