

**SYKKEEN JA HENGITYSKAASUJEN MUUTOKSET AEROBI-
SELLA JA ANAEROBISELLA KYNNYKSELLÄ
VARUSMIESPALVELUKSEN PERUSKOULUTUSKAUDELLA
- SEKÄ NIIDEN YHTEYS KUNTOTASOON JA KEHON KOOS-
TUMUKSEEN**

Jukka-Pekka Flygare

Liikuntafysiologian Pro gradu -tutkielma

Kevät 2019

Liikuntabiologia

Jyväskylän yliopisto

Ohjaaja:

Minna Tervo

Jukka-Pekka Flygare (2018). Sykkeen ja hengityskaasujen muutokset aerobisella ja anaerobisella kynnyksellä varusmiespalveluksen peruskoulutuskaudella - sekä niiden yhteys kuntotasoon ja kehon koostumukseen. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, Pro gradu – tutkielma, 87 s.

TIIVISTELMÄ

Tämän Pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää varusmiespalveluksen kahdeksan viikkoa kestävä peruskoulutuskauden harjoittelun vaikutuksia varusmiesten sykkeeseen ja hengityskaasujen muutoksiin aerobisella ja anaerobisella kynnyksellä kuntatasoltaan ja kehon koostumukseltaan erilaisilla varusmiehillä.

Kahdeksan viikkoa kestävä tutkimukseen osallistui 34 vapaaehtoista miesalokasta (ikä: 19.1 ± 0.3 v) Kainuun Prikaatin viestikomppaniasta. Tutkittavat jaettiin varusmiespalvelusta edeltävän fyysisen aktiivisuuden perusteella aktiivi-, harraste- ja perusryhmään sekä kehon painoindeksin (BMI) mukaan matala-, normaali- ja korkealuokkaan. Aerobinen ja anaerobinen kynnykset määritettiin maksimaalisesta hapenottoaeroväylystä (VO_{2max}) testistä. Mittaukset ja kyselyt tehtiin peruskoulutuskauden alussa, keskivaiheilla sekä lopussa. Aerobinen kynnykset määritettiin Vslope menetelmällä sekä anaerobinen kynnykset RCP menetelmällä. Kynnyksille määritettiin käytetty aika, syke, hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti sekä hapen ventilaatioekvivalentti.

Aerobisella ja anaerobisella kynnyksillä havaittiin kestävyyskunnan parantuneen tilastollisesti merkittävästi tasoryhmän ja BMI-luokan mukaan jaetuilla varusmiehillä niin ryhmien välillä sekä myös ryhmien sisällä testiviikkojen välillä. Aktiiviryhmän aika aerobisella kynnyksellä oli kaikilla viikoilla tilastollisesti merkittävästi parempi kuin harraste- ja perusryhmällä. Myös anaerobisella kynnyksellä aktiiviryhmä aika oli tilastollisesti merkittävästi parempi kaikilla testiviikoilla kuin harraste- ja perusryhmällä. Syke muuttui tilastollisesti merkittävästi aerobisella kynnyksellä perusryhmällä sekä BMI-luokassa matala- ja korkealuokalla. Anaerobisella kynnyksellä syke muuttui tilastollisesti merkittävästi tasoryhmissä ja BMI-luokissa sekä ryhmien välillä, että sisällä. Ainoastaan BMI-luokassa normaali ei havaittu tilastollisesti merkitseviä sykkeen muutoksia testien välillä tai ryhmiin matala ja korkea verrattuna.

Tutkimus osoitti, että fyysisen aktiivisuuden tasoryhmä on parempi kestävyyskunnan muutosten arviointiin kuin BMI-luokka. BMI-luokka ei yksistään osoita kestävyyskuntoa eikä myöskään suoritus muutokset peruskoulutus jakson aikana olleet selkeitä ja yhdenmukaisia. Tarkasteltaessa aikaa aerobisella tai anaerobisella kynnyksellä, se ei osoittanut tilastollisesti merkitseviä eroja BMI-luokassa ryhmien välillä testien aikana.

Avainsanat: Peruskoulutuskausi, tasoryhmä, BMI, syke, aerobinen kynnykset, anaerobinen kynnykset, Vslope, RCP, kehon koostumus.

Jukka-Pekka Flygare (2018). Changes in heart rate and VO₂-kinetics during strenuous military training and association with initial fitness and body composition. *Biology of physical activity*, University of Jyväskylä. 87p.

ABSTRACT

The purpose of this study was to find out the effects of eight-week military basic training on respiratory changes in aerobic and anaerobic threshold among the conscripts of different levels of physical activity and body composition.

Thirty-four voluntary male conscripts (age: 19.1 ± 0.3 years) from Kainuu Brigade were divided based on self-reported physical activity prior to their military service into active, moderate and inactive group and by the body mass index (BMI) into the low, normal and high-risk groups. The aerobic and anaerobic thresholds were determined from the maximal oxygen uptake (VO₂max) test. Measurements were conducted at the beginning (week 1), mid-term (week 5) and at the end of the basic training period (week 8). The aerobic threshold was evaluated by Vslope method and the anaerobic threshold by RCP method. For the thresholds the time used, heart rate, carbon dioxide equivalent and oxygen ventilation equivalent were determined.

The aerobic and anaerobic threshold improved significantly in both classes, both within the classes and between groups within the test weeks. The time for the active group at aerobic thresholds was significantly higher for each week than the moderate and inactive group. Also, the active group had significantly better anaerobic threshold time in all the weeks of testing than the moderate and the inactive group. The aerobic threshold heart rate changed significantly among the inactive group and BMI low- and high group. At anaerobic threshold, the heart rate changed significantly in both classes, both between and within groups. Among the BMI groups low and high, heart rate changed significantly within and between the groups, but not in the normal group.

The study showed that initial physical activity is better for assessing changes in endurance fitness than the BMI class. The BMI category alone does not statistically demonstrate endurance fitness, nor did the changes during the initial training period be clear and consistent. When examining the time at aerobic or anaerobic thresholds, no significant differences in BMI between groups were demonstrated during the tests.

Keywords: Basic training period, physical activity, BMI, heart rate, aerobic threshold, anaerobic threshold, Vslope, RCP, body composition

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	painoindeksi (Body Mass Index)
VO ₂ max	maksimaalinen hapenkulutus
HR	sydämen syke (heart rate)
CO ₂	hiilidioksidi
O ₂	happi -molekyyli
VCO ₂	Hiilidioksin tuotto aikayksikköä kohden
VO ₂	Hapenotto: hapenkulutus aikayksikköä kohden
EqO ₂	Ventilaation ja hapenkulutuksen suhde: VE/CO ₂
EqCO ₂	Ventilaation ja hiilidioksidintuoton suhde: VE/VCO ₂
VE	Ventilaatio, keuhkotuuletus: yhden minuutin aikana hengityselimissä käyneen ilman tilavuus
Aerobinen	Hapen avulla tapahtuva. Esimerkiksi aerobinen energiantuottotapa
Anaerobinen	Ilman happea tapahtuva. Esimerkiksi anaerobinen energiantuottotapa.

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	7
2.	MAKSIMAALISEN AEROBISEN SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN.....	9
2.1.	Hengityselimistön vasteet kuormituksessa.....	10
2.2.	Sydämen toiminta kuormituksessa.....	11
2.3.	Hapenkulutukseen vaikuttavat tekijät.....	13
3.	KYNNYSTEN MÄÄRITTÄMISEN PERIAATTEET.....	14
3.1.	Aerobinen kynnys (AerK).....	14
3.2.	Anaerobinen kynnys (AnK)	21
4.	HARJOITTELUN VAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN	28
4.1.	Harjoittelun määrä ja intensiteetti	31
5.	HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYSKAASUJEN KINETIIKKAAN 34	
6.	TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....	38
7.	MENETELMÄT	39
7.1.	Tutkittavat	39
7.2.	Tutkimusprotokolla	39
7.3.	Mittaukset.....	40
7.4.	Aerobinen kynnys (AerK).....	41
7.5.	Anaerobinen kynnys (AnK)	42
7.6.	Tilastolliset menetelmät.....	43
8.	TULOKSET.....	45
8.1.	Peruskoulutuskauden aerobinen kynnys (AE)	45
8.1.1.	Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen aikaan	45
8.1.2.	Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen sykkeeseen	47
8.1.3.	Peruskoulutus jakson vaikutus aerobisen kynnyksen hapen- ja hiilidioksidin ventilaatioekvivalenttiin.....	48
8.2.	Peruskoulutus jakson Anaerobinen kynnys (AnK)	52

8.2.1. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen aikaan.....	52
8.2.2. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen sykkeeseen.....	54
8.2.3. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen hiilidioksidin- ja hapen ventilaatioekvivalenttiin	56
8.3. Peruskoulutuskauden vaikutus hapenottoon.....	60
8.3.1. Peruskoulutuskauden vaikutus maksimaaliseen hapenottoon.....	61
8.3.2. Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen hapenottoon.....	62
8.3.3. Peruskoulutuskauden vaikutus anaerobisen kynnyksen hapenottoon	64
8.4. VO ₂ max:n yhteys aerobisen- ja anaerobisen kynnyksen aikaan ja hapenottoon, korrelaatiot	65
9. POHDINTA.....	70
9.1. Kynnykset.....	71
9.2. Syke	71
9.3. Ventilatoriset ekvivalentit	72
10. JOHTOPÄÄTÖKSET	74
11. LÄHTEET	76

1. JOHDANTO

Kestävyysominaisuuksien arvioinnin tarkoituksena on arvioida nykyisten liikuntatottumuksien riittävyys terveyden näkökulmasta ja edistää terveellisiä elämäntapoja sekä antaa ihmisille perusta liikkumiseen ja sen aloittamiselle. Testien perusteella voidaan antaa ohjeet optimaaliseen harjoitteluun ja liikkumiseen. Kestävyysominaisuuksia tulisi seurata jatkuvasti, jotta voidaan seurata kunnon kehittymistä.

Suorien maksimaalisten hapenottokyky testien tarkoitus on seurata urheilijan tai kuntoliijan kehittymistä ja määrittää heikkoja osa-alueita, joita harjoituksella voidaan parantaa. Testistä saadaan määritettyä mahdollisesti alentunut aerobinen kapasiteetti ja rajoittaako hapenkulutus suoritusta vai rajoittaako ventilaatiokapasiteetti suoritusta vai onko häiriöitä lihaksen kyvyssä käyttää happea tai ravintoaineita. Testien avulla voidaan diagnosoida erilaisia sairauksia, jotka voivat olla rajoittamassa suorituskykyä. Suorien testien avulla määritellään harjoituksessa käytettävät teho alueet. Testien tuloksena saadaan määritettyä VO_2max , kynnykset ja nopeuskestävyys suorituskyky. Vertaamalla arvioitua VO_2max suorituksen aikaiseen voidaan määrittää taloudellisuus. Normaaliväestöllä suorien testien lisäksi käytetään yleensä epäsuoria menetelmiä, jossa sykkeen ja kuormitus tehon avulla pyritään määrittämään VO_2max ja sitä kautta työkyvyn arviointi.

Aerobinen ja anaerobinen kynnys kuvastavat elimistössä tapahtuvia muutoksia kuormituksen lisääntyessä. Suoran maksimaalisen hapenoton testin tuloksista kynnykset voidaan määrittää hengityskaasumuuttujien ja laktaatin avulla. Tässä työssä keskitytään pääasiassa hengityskaasumuuttujissa tapahtuviin muutoksiin.

Anaerobinen kynnys voi pitkään harjoitelleella urheilijalla vielä kehittyä, ilman että maksimaalinen hapenottokyky VO_2max kehittyi, jonka johdosta kestävyys suorituskyky paranee. Tämän johdosta anaerobisen kynnyksen katsotaankin oleva usein parempi suorituskyvyn mittari kuin VO_2max . Lisäksi molempien kynnysten määrittämisen merkitys on lähinnä harjoitusintensiteetin määrittäminen eri kestävyys osa-alueille.

Tässä työssä perehdytään suorien testien avulla tehtyihin aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseen sekä kynnyksien muuttujien muutokseen peruskoulutuskaudella. Tarkoituksena on selvittää, miten peruskoulutuskausi vaikuttaa kynnyksiin. Lisäksi selvitetään mitkä ovat ne luokittelun muuttujat ja ominaisuudet, jotka vaikuttavat kestävyysominaisuuksiin ja sitä kautta aerobiseen ja anaerobiseen kynnnykseen.

Työ pohjautuu Minna Tervon tekemiin mittauksiin Kainuun prikaatissa vuonna 2004. Aineisto käsittää 34 varusmiehen tekemät päivittäiset mittausaineistot. Tuloksista analysoidaan kynnykset hengityskaasujen perusteella. Työssä määritetään kynnykset jokaiselle varusmiehelle, jotta harjoitusintensiiviteetti ja sen vaikutukset kynnyksiin on mahdollista tutkia. Varusmiehet suorittivat peruskoulutuskauden aikana kolme maksimihapenottotestiä siihen liittyvineen perusmittauksineen. Mittauksissa mitattiin antropometriset mitat, voimat sekä maksimihapenottotesti juoksumatolla tutkimusviikoilla 1,5,8.

2. MAKSIMAALISEN AEROBISEN SUORITUSKYVYN MITTAAMINEN

Suoran maksimaalisen hapenoton testissä laboratoriossa valitaan käytettävä laitteisto. Yleisimmin käytössä on juoksumatto- tai polkupyöräergometritesti. Testiä valittaessa pyritään lajispesifisyyteen, jotta kuormituksessa käytetty lihaksisto ja lihastyötapa vastasi lajia ja lajinomaisuutta. Lisäksi testeissä on käytössä hengityskaasuanalysaattori sekä verinäytteenottovälineet, lähinnä laktaatin määrittämiseen sekä sykemittari tai EKG-laitteisto. (ACSM 2009, s. 60–82)

Käytettävällä laitteistolla mitataan ja määritetään testin aikana maksimaalinen hapenotto $VO_2\max$. Hapenkuljetusjärjestelmään osatekijöitä ovat hengityselin eli keuhkot, hemoglobiini konsentraatio, veren tilavuus ja sydämen iskutilavuus, perifeerinen verenkierto kudoksissa sekä hapen avulla tapahtuva energiantuotto mitokondrioissa. (ACSM 2009, s. 60–82)

Testiä valittaessa määritetään lajispesifisyys ja sen mukaan valitaan ergometria. Juoksunopeuden nostoon perustuva testi soveltuu kestävyysurheilijoille (Londereen 1986). Juoksunopeuden ja kulman nostoon perustuva testi soveltuu suunnistajille (ACMS 1995). Sauvakävelytesti perustuu kulman nostoon ja soveltuu hiihtäjille (Balke & Ware 1959). Tämän lisäksi testi voidaan tehdä esimerkiksi rullasuksilla, jolloin hiihtäjille saadaan hyvä lajispesifisyys. Samalla tavalla voidaan testi tehdä rullaluistimilla pikaluistelijoille. Polkupyöräergometritesti soveltuu pyöräilijöille ja varsinkin alaraajojen suoritukseen perustuvissa lajeissa. Suoritus tehdään nousevalla yleensä 3minuutin kuormalla, kuormien lopussa tuli saavuttaa steady-state-tila. Kuormitusmalli voi olla myös vakiokuormitus, jonka minimi keston tulisi olla 5-10min. Yleensä vakiokuormalla tehdyt testit tehdään noin 60 % tasolla $VO_2\max$:ista. (ACSM 2009, s. 60–82)

2.1. Hengityselimistön vasteet kuormituksessa

Hengityksen aikana happi siirtyy soluihin ja hiilidioksidi soluista ilmaan. Tapahtuu kaasujen vaihtoa ilman veren ja kudosten välillä. Kaasut siirtyvät suuremmasta osapaineesta pienempään osapaineeseen. Ventilaatiossa ilma virtaa keuhkorakkuloihin ja ulos. Ventilaatio kasvaa kolmessa vaiheessa. Ventilaatio kiihtyy ennen suoritusta ja kuormituksen alettua se kasvaa hyvin nopeasti johtuen neuraalisesta säätelystä, jolloin hermoimpulssit tulevat tuntohermoja pitkin suorittavista lihaksista keskushermostoon. Ventilaation toisessa vaiheessa nousu jatkuu hitaasti ja saavuttaa steady-state tilan, nousun aiheuttaa neuraalisesta säätelystä, kuten valtimoveren happipaineen vaihtelut ja hiilidioksidin ja vetyionien määrän kasvu. Tätä kohtaa sanotaan 1.ventilaatiokynnykseksi eli aerobiseksi kynnykseksi. Kolmannessa vaiheessa kuormituksen raskaassa vaiheessa ventilaatio voi vielä nousta, jolloin saavutetaan ventilaatorinen kynnyks. Tätä kohtaa sanotaan 2.ventilaatiokynnykseksi eli anaerobiseksi kynnykseksi. (Baldari & Guidetti 2000)

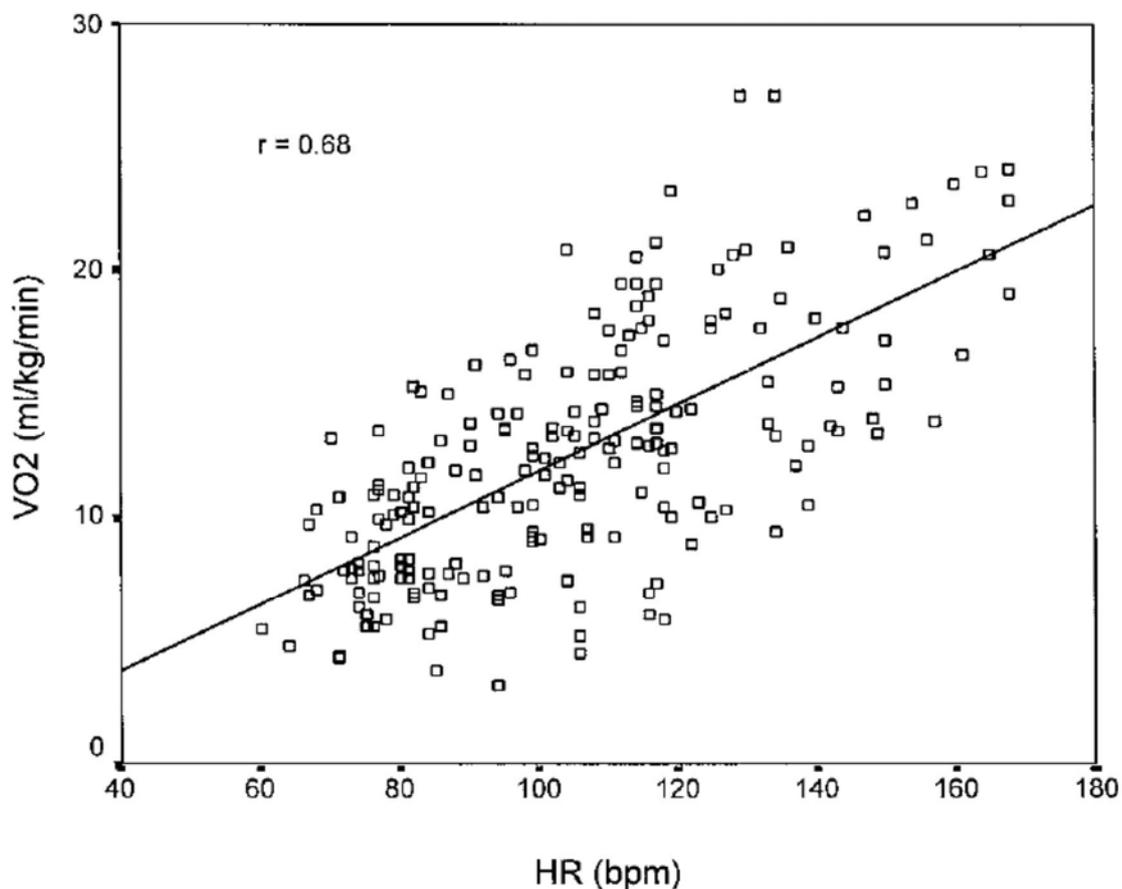
Kuormituksen alussa kertahengitystilavuus kasvaa noin 60 % tasoon VO_{2max} ista, tämän jälkeen hengitysfrekvenssi kasvaa, joka voidaan ilmaista ventilaation lineaarisuudesta poikkeava muutoskohta suhteessa hapenkulutukseen. Harjoittelulla voidaan vaikuttaa maksimaaliseen tahdonalaiseen kertahengityskapasiteettiin (MVV), testin aikana mitattavaan maksimaaliseen keuhkotuuletukseen (VE_{max}), hengityskynnykseen ja syke reserviin (HR). Kilpasuorituksen aikana hengityslihasten kestävyys ratkaisee, kuinka lähellä maksimaalista keuhkotuuletusta voidaan hengittää. Kuitenkaan keuhkojen tilavuus ei ole ainoa selittävä tekijä kestävyysuorituskykyyn, eikä se myöskään ole kestävyysuorituksen rajoittava tekijä. Ylikuntoa voi esiintyä jo seitsemän päivän intensiivisen harjoittelun jälkeen, joka voi esiintyä voimantuoton laskuna, sykkeen laskuna ja VO_{2max} laskuna jopa 5 % (Halson 2002).

Elimistä pyrkii hillitsemään pH:n muutoksia keuhkotuuletuksen avulla. Plasman hiilihappo ja natriumkarbonaatti yhdessä poistavat CO_2 ja vetyioneja ventilaation kautta. Vetyionikonsentraatio ja PCO_2 :n kasvu stimuloivat keuhkotuuletusta, kun ylimääräisestä hiilidioksidista pyritään pääsemään eroon. Keuhkotuuletuksen puskurointipotentiaali on kaksinkertainen kaikkien muiden kemiallisten puskurointimenetelmien

yhteistehoon verrattuna. Hyperventiloimalla voidaan saada veren pH nousemaan. Veren pH laskee samassa suhteessa, kuin veren laktaatti konsentraatio nousee.

2.2. Sydämen toiminta kuormituksessa

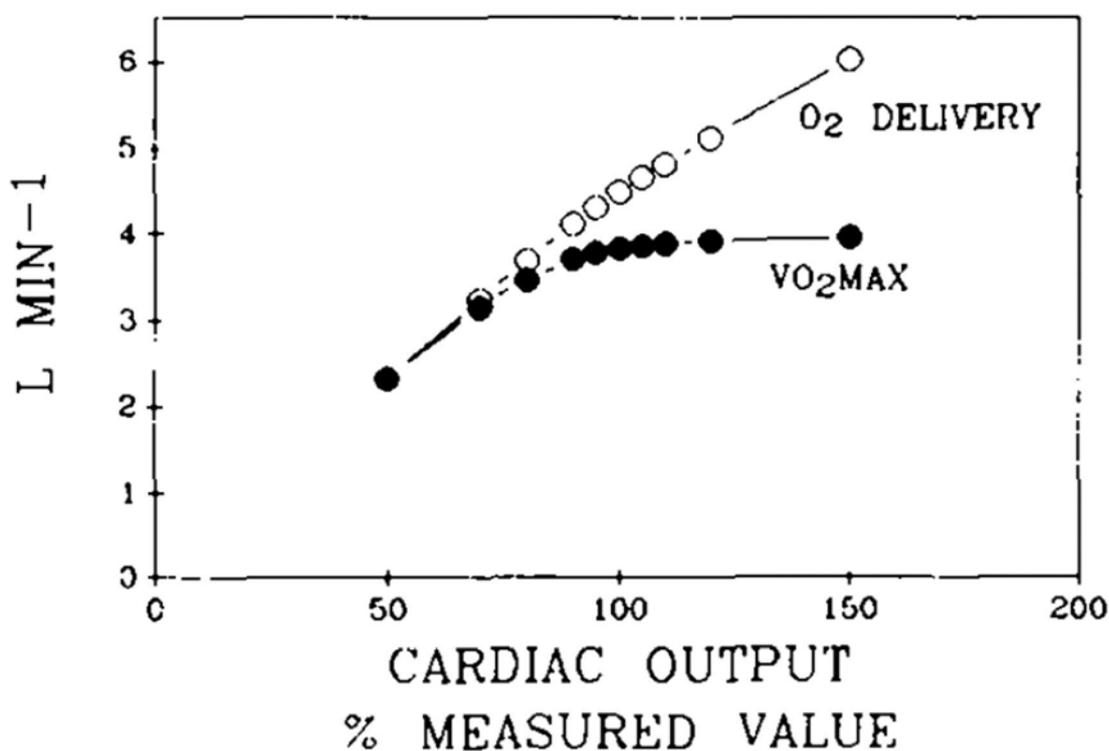
Kuormituksessa syke kasvaa lineaarisesti suhteessa hapenkulutukseen (Kuva 1). Samoin tavoin, kuin ventilaatio myös syke kiihtyy kuormituksessa vaiheittain. Ennen suoritusta sympaattisen hermoston stimulointi ja vagaalisen toiminnan pieneneminen saavat aikaan sykkeen kiihtymisen. Sykkeen nousun toisen vaiheen aiheuttaa proprioseptoreiden stimulaatio, katekoliamiinien erittyminen ja vasodilataatio toimivissa lihaksissa. Viimeisessä vaiheessa hitaan sykkeen nousun aiheuttaa kiertävän verimäärän pieneneminen, ruumiinlämmön nousu, katekoliamiinien erittyminen, psyykkiset tekijät ja työn hyötysuhteen huononeminen. Verenpaine riippuu sydämen minuuttitulavuudesta (Q) ja verisuonten perifeerisestä vastuksesta, tästä johtuen verenpaine käyttäytyy samoin tavoin, kuin syke. Tasaisesti nousevassa kuormituksessa diastolinen verenpaine kasvaa lineaarisesti tehon kasvaessa. (Kuva 1) (Strath 2000)



Kuva 1. Hapenkulutuksen ja sykkeen välinen yhteys (Strath 2000)

Sydämen iskutilavuus kasvaa kuormituksessa johtuen laskimopaluun lisääntymisestä ja sydämen supistuskky tehostuu sympaattisen stimulaation johdosta. Iskutilavuuteen vaikuttaa suurempi diastolinen täyttyminen eli tapahtuu niin sanottu esikuormitus (preload). Lisäksi suurempi systolinen tyhjeneminen vaikuttaa osaltaan iskutilavuuteen. Lisäksi kestävyysharjoittelulla voidaan vaikuttaa sydänlihaksen venyvyyteen, joka osaltaan parantaa iskutilavuutta. Iskutilavuuteen voi osaltaan vaikuttaa myös muutokset plasmavolyymissa ja ääreisverenkierron vastuksessa. Kuumissa olosuhteissa tapahtuu nesteen menetystä eli kuivumista, joka osaltaan vaikuttaa sydämen esitäyttymiseen ja syke nousee. Maksimaalinen sydämen minuuttitulavuus ja hapenkulutus ovat suorassa yhteydessä toisiinsa. (McArdle 2010, s. 464)

Iskutilavuudella on suuri merkitys maksimaaliseen hapenottookykyyn ($VO_2\max$) ja aerobiseen suorituskkyyn, koska se määrittelee suurimman osan sydämen maksimaalisen minuuttitulavuuden vaihteluista. Minuuttitulavuus saadaan, kun syke kerrotaan iskutilavuudella. (McArdle 2010, s.464–465)



Kuva 2. Iskutilavuuden vaikutus $VO_2\max$:iin, merenpinnassa (Wagner 1996).

2.3. Hapenkulutukseen vaikuttavat tekijät

Toinen merkittävä tekijä hapenkulutuksessa on valtimo/laskimo-happi ero. Hapenkulutus määräytyy kaavasta $VO_2 = Q \cdot \text{valtimo/laskimo-happi ero}$. Kestävyysharjoittelulla voidaan vaikuttaa lihassolujen kykyyn käyttää happea hyväkseen, tämä lisää valtimo/laskimo-happieroa. Lihassolujen kyky käyttää happea paremmin hyväkseen johtuu kapillaari-lihasolu suhteen kasvamisesta sekä mitokondrioiden ja oksidatiivisten entsyymien määrän kasvamisesta. VO_{2max} on huippu-urheilussa ja huipulla yleensä riippuvainen perimästä. Joissain tutkimuksissa on pystytty määrittämään, että mitokondrioiden määrä periytyy äidiltä.

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaa lisäksi kehon koostumus ja ennen kaikkea aktiivisen lihasmassan määrä. Tästä johtuen maksimihapenottokyky suhteutetaan yleensä kehon painoon tai kehon rasvattomaan painoon. Jälkimmäinen tapa olisi oikeampi tapa varsinkin harjoittelemattomien testituloksia verrattaessa. Tämä havaittiin mm. Puolan laskuvarjojoukoilla, joilla harjoittelu ei vaikuttanut hapenottoon kehon painokiloa kohti (ml/kg/min), mikä osaltaan selittyy lihasmassan 4 %:n kasvusta. Sen sijaan peruskoulutus jakson aikana absoluuttinen VO_{2max} kasvoi (Faff 2000). Parhaiten maksimaaliseen hapenottokykyyn voidaan vaikuttaa kestävyysharjoittelulla ja harjoitustaustalla. Maksimaalinen hapenottokyky kuvastaa maksimaalista aerobista ATP:n resynteesitehoa. VO_{2max} on pidetty käytetyimpänä kestävyysuorituskyvyn mittarina. Useissa tutkimuksissa pidetäänkin parempana kestävyyskunnan mittarina anaerobista kynnystä, joka määritellään 4mM kynnyksellä (Davis 1985; Baldari 2000).

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaa myös kuormitustapa, jossa aktiivisen lihasmassan määrä vaikuttaa VO_{2max} :iin. Naisilla on 15–30% pienempi VO_{2max} kuin miehillä, joka johtuu kehon koostumuksesta, koska miehillä on enemmän lihasmassaa sekä miehillä on suurempi hemoglobiinipitoisuus. Aikuisiällä VO_{2max} on parhaimmillaan noin 20-25vuotiaana. Yli 25 vuotiailla hapenottokyky laskee noin 1 % vuodessa. Harjoittelulla iän aiheuttamaa laskua voidaan hidastaa.

3. KYNNYSTEN MÄÄRITTÄMISEN PERIAATTEET

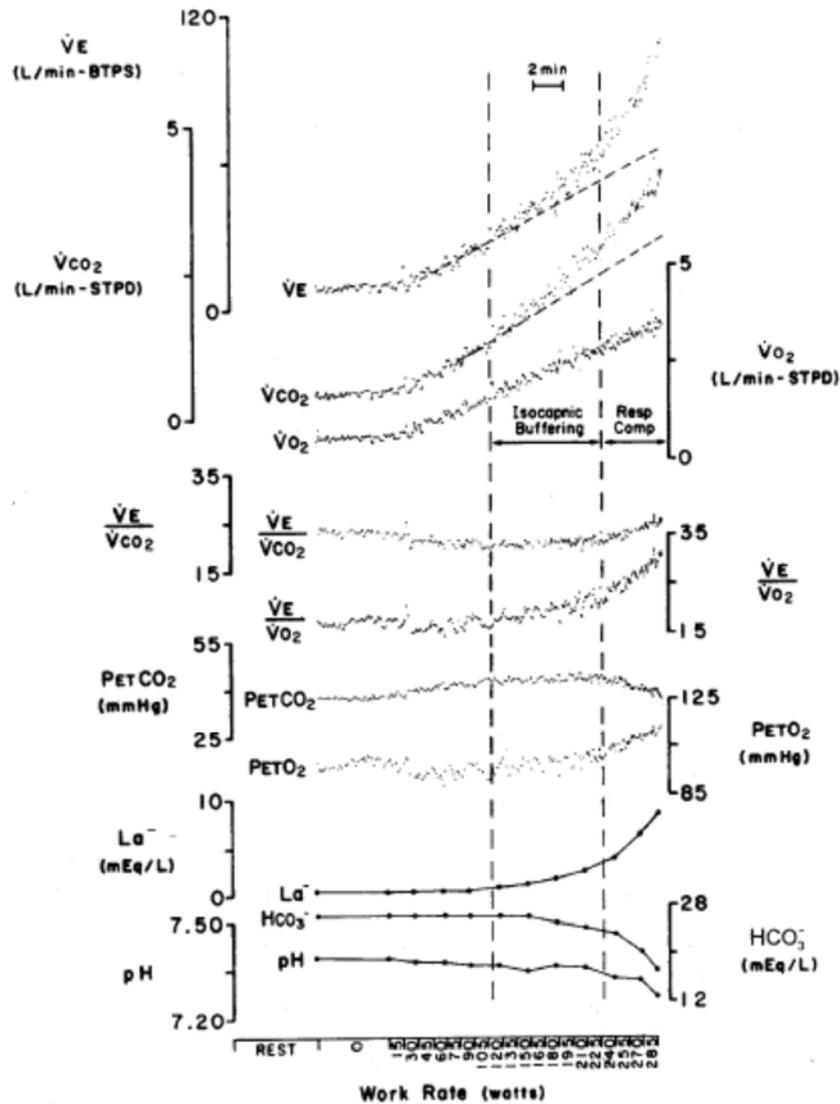
3.1. Aerobinen kynnys (AerK)

Kynnyksiä määriteltäessä mainitaan tutkimuksissa ja kirjallisuudessa hapenkulutus (O_2) sekä hiilidioksidintuotto (CO_2). Näiden muuttujien avulla pyritään myös suonenulkoisin keinoin määrittämään kynnykset (taulukko 1, Kuva 4).

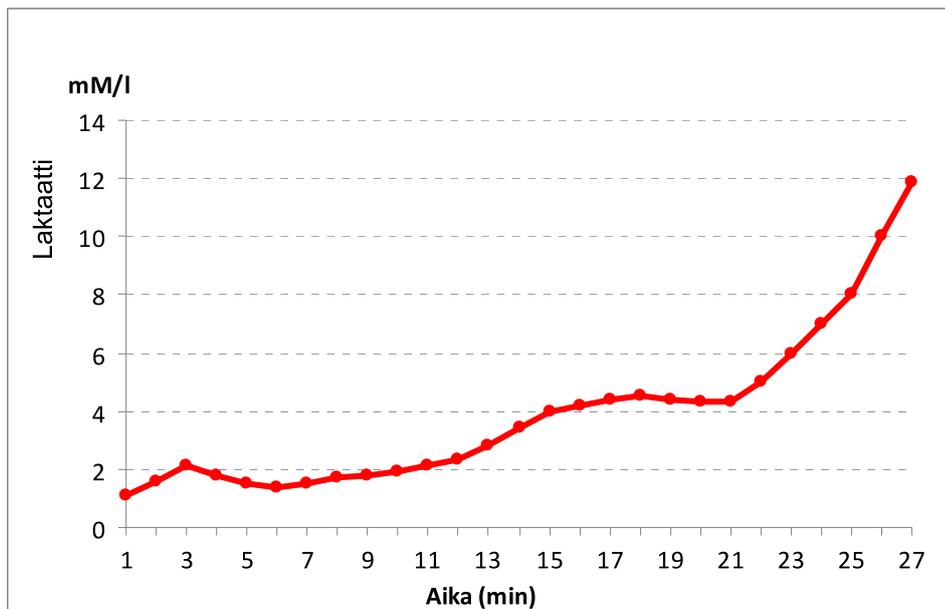
Suomessa käytössä oleva aerobinen kynnys (AerK) määritellään kohtaan, jolloin veren laktaattipitoisuus nousee yli perustason 2mM/l (Kuva 5). Ulkomaisissa tutkimuksissa puhutaan 1.ventilaatiokynnyksestä (McLellan and Skinner, taulukko 3) tai laktaattikynnyksestä, jossa käytetään suonen sisäisiä menetelmiä aerobisen kynnyksen määrittämiseen (LT, AT) (Kuva 5, taulukko 1).

Taulukko 1. Kynnysten määrittämisen kriteerit (Bosquet 2002)

Reference	Threshold	Criteria
Invasive methods		
Holmann ^[152]	OEPL	Non-linear increase of [La]
Farrell et al. ^[16]	OPLA	Rupture of the [La] curve
Foxdal et al. ^[169]	OPLA	[La] of 4.0 mmol/L
Sjödén and Jacobs ^[134]	OBLA	[La] of 4.0 mmol/L
Kinderman et al. ^[140]	LT	[La] of 2.0 mmol/L
Reinhard et al. ^[154]	LT	2 standard deviations above resting [La]
Ivy et al. ^[133]	LT	Before onset of [La] breakpoint
Hughson and Green ^[170]	LT	0.5 mmol/L above resting [La]
Hagberg and Coyle ^[171]	LT	1 mmol/L above 40-60% $\dot{V}O_{2max}$
Hurley et al. ^[166]	LT	[La] of 2.5 mmol/L
Sucec et al. ^[172]	LT	Abrupt and sustained [La] increase
Worms et al. ^[165]	LT	[La] of 3.0 mmol/L
Yoshida et al. ^[167]	LT	1 mmol/L above resting [La]
Coyle et al. ^[173]	LT	1.0 mmol/L above baseline [La]
Cheng et al. ^[174]	LT	Distance max from [La] curve to the line formed by its two endpoints
Skinner and McLellan ^[141]	AT	First increase of [La] (2 mmol/L)
	AnT	Second increase of [La] (4 mmol/L)
Keul et al. ^[175]	IAT	[La] tangent at 45°
Simon et al. ^[178]	IAT	[La] tangent at 51°
Stegmann et al. ^[135]	IAT	[La] tangent with [La] recovery curve where [La] is equal to the value at the end of exercise
Bunc et al. ^[177]	IAT	See section 2.1.1 in text
LaFontaine et al. ^[142]	MSS	[La] of 2.2 mmol/L
Palmer et al. ^[179]	MLSS	Change of <1.0 mmol/L in [La] during SSE
Tegtbur et al. ^[150]	LMS	Minimum [La] during MET after HIE
Non-invasive methods		
Holmann ^[152]	POW	VE tangent at 45°
Wasserman and McLroy ^[153]	AnT	Abrupt increase in RER
Wasserman et al. ^[128]	AnT	Increase in VE and $\dot{V}CO_2$
Davis et al. ^[179]	AnT	Abrupt increase in FEO_2
Davis et al. ^[180]	AnT	Increase in $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ but not in $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$
Moritani and DeVries ^[181]	AnT	IEMG breakpoint
Conconi et al. ^[158]	AnT	Deflection point of HR
Skinner and McLellan ^[141]	AT	First and second VE breakpoint
Reinhard et al. ^[154]	TDMA	Minimum $\dot{V}E/\dot{V}O_2$
Hugues et al. ^[182]	VT	VE breakpoint
James et al. ^[183]	AnT	Disproportionate increase in BF
Chicharro et al. ^[183]	AnT	First increase in Cl ⁻ or Na ⁺ in saliva
Jones and Doust ^[164]	VT	$\dot{V}CO_2$ breakpoint
	BFB	Disproportionate increase in BF
Snyder et al. ^[184]	MLSS	%HR _{max} during SSE
Palmer et al. ^[178]	MLSS	RPE of 12
<p>AnT = anaerobic threshold; AT = aerobic threshold; BF = breathing frequency; BFB = breathing frequency breakpoint; FEO_2 = expired fraction of oxygen; HIE = high-intensity exercise; HR = heart rate; %HR_{max} = percentage of maximal heart rate; IAT = individual anaerobic threshold; IEMG = integrated electromyogram; [La] = lactate concentration; LMS = lactate minimum speed; LT = lactate threshold; max = maximum; MET = multistage exercise test; MLSS = maximal lactate steady state; MSS = maximal steady state; OBLA = onset of blood lactate accumulation; OEPL = oxygen endurance performance limit; OPLA = onset of plasma lactate accumulation; POW = point of optimum ventilatory efficiency; RER = respiratory exchange ratio; RPE = rated perceived exertion; SSE = steady-state exercise; TDMA = threshold of decompensated metabolic acidosis; $\dot{V}CO_2$ = volume of carbon dioxide eliminated per minute; VE = minute ventilation; $\dot{V}O_2$ = oxygen uptake; $\dot{V}O_{2max}$ = maximal oxygen uptake; VT = ventilatory threshold.</p>		



Kuva 4. Hengityskaasujen mittaukset: ventilaatio (VE), hiilidioksidin tuotto (VCO_2), hapenotto (VO_2), laktaatti (La^-), pH 1 minuutin pyöräily kynnystestissä. Aerobisella kynnyksellä VE/VO_2 nousee. Kynnysten välissä VE ja VCO_2 nousee, mutta VE/VCO_2 ei nouse. Anaerobisen kynnyksen jälkeen VE/VCO_2 nousee dramaattisesti. (Wassermann 2005)

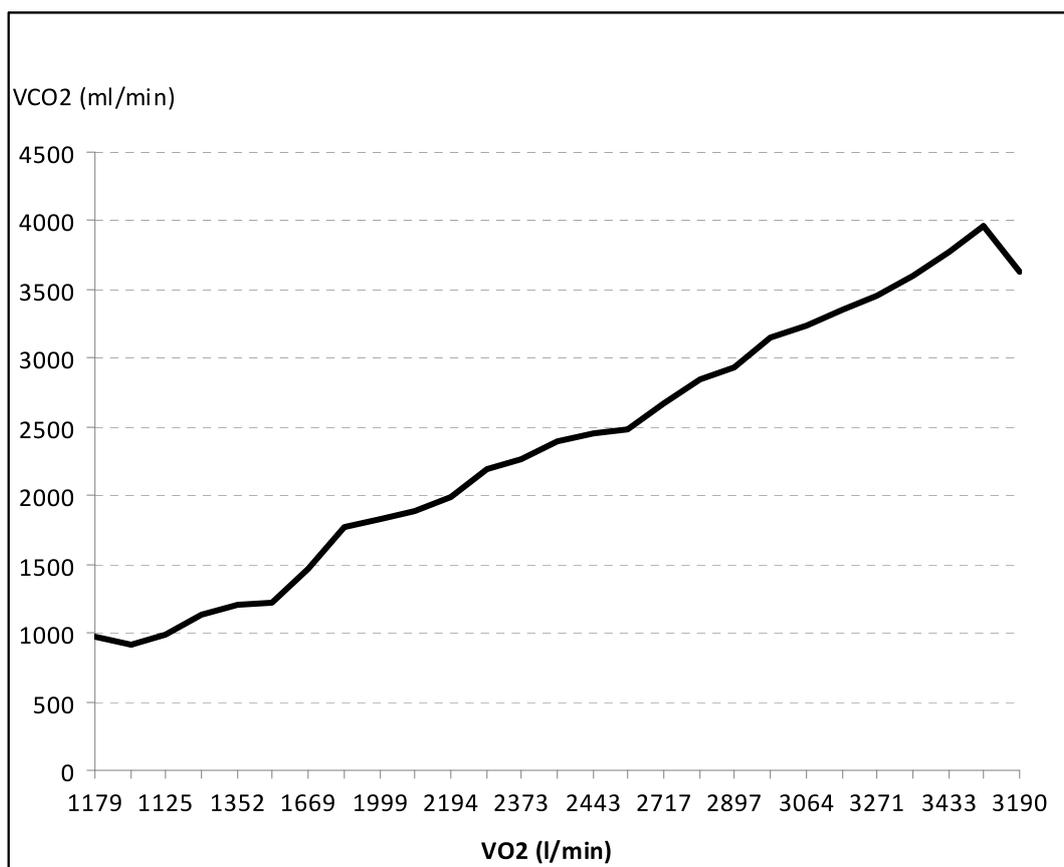


Kuva 5. Laktaatin konsentraation nousu portaittaisen kuormitustestin aikana.

Aerobisella kynnyksellä CO_2 tuotto alkaa kasvaa ja samalla keuhko tuuletus VE kiihtyy. Keuhko tuuletuksen kiihdyttäjänä toimii CO_2 osapaineen nousu veressä. Samalla elimistössä lisääntyy energiantarve sekä hormonitoiminta. Laktaatin tuotto kasvaa lihaksissa ja tämä aiheuttaa osaltaan keuhko tuuletuksen kasvun. (Wassermann 2005)

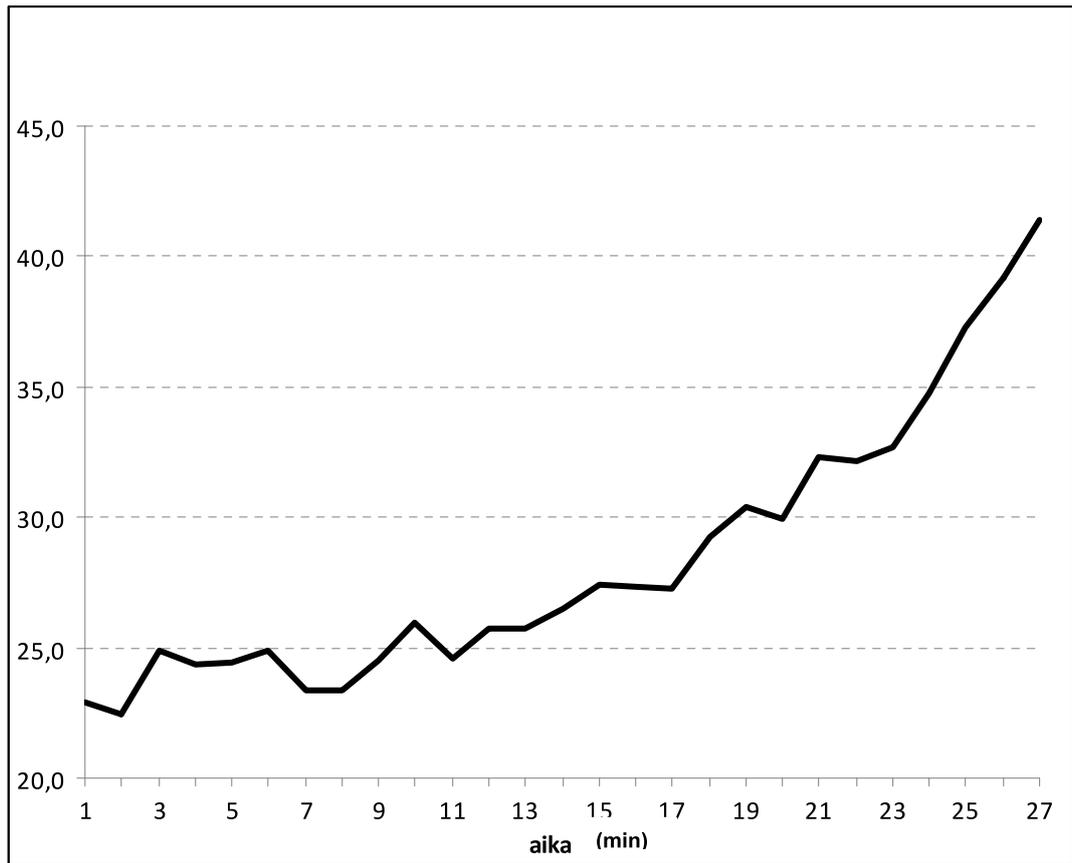
Meyer ym. (2005) suosittelevat aerobisen kynnyksen määrittämisessä Vslope-menetelmää, sillä ventilaation mukaanotto muuttujaksi lisää mitattavan ilmiön kannalta epäoleellista datan varianssia. Tutkimukset osoittavat, että VE:n sijaan VCO_2 :n vertaamista VO_2 :een hyvänä menetelmänä happamoitumisen havaitsemiseen. Elimistö pyrkii kiihdyttämään ventilaatiota laktaatin puskuroinin natriumbikarbonaatin avulla. Samalla lisääntyy VCO_2 tuotto suhteessa VO_2 kulutukseen eli VCO_2 tuotto suhteessa VO_2 kulutukseen (=Vslope) kiihtyy. Aerobisella kynnyksellä CO_2 tuotto alkaa kasvaa ja samalla keuhko tuuletus VE kiihtyy. Keuhko tuuletuksen kiihdyttäjänä toimii CO_2 osapaineen nousu veressä. Samalla elimistössä lisääntyy energiantarve sekä hormonitoiminta.

Elimistö pyrkii kiihdyttämään ventilaatiota laktaatin puskuroinin natriumbikarbonaatin avulla. Samalla lisääntyy VCO_2 tuotto suhteessa VO_2 kulutukseen eli VCO_2 tuotto suhteessa VO_2 kulutukseen (=Vslope) kiihtyy (Kuva 6).



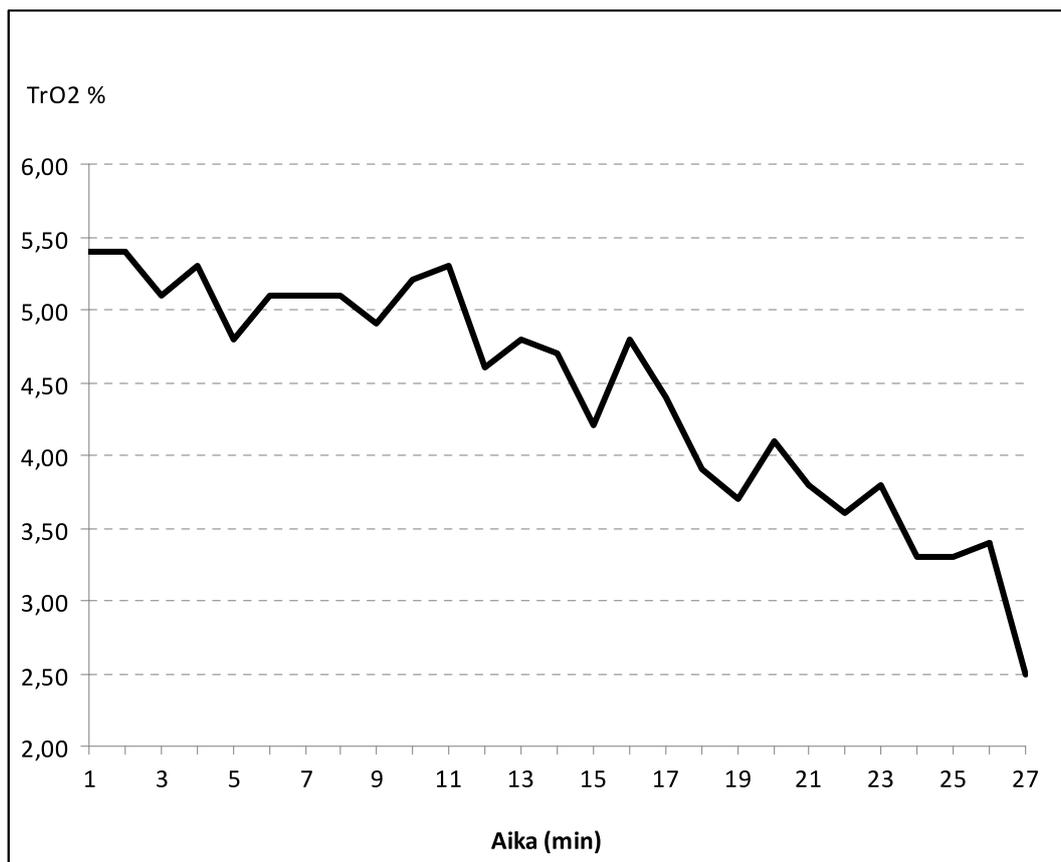
Kuva 6. VCO₂ suhde VO₂.

Hapen ventilatorisen ekvivalentin VE/VO₂ alin kohta määritellään myös aerobiseksi kynnykseksi (Kuva 7).



Kuva 7. Hapen ventilatorinen ekvivalentti EqO_2 eli VE suhde VO_2 .

Aerobisen kynnyksen määrittämisessä käytetään hyväksi myös True- O_2 korkeinta kohtaa eli kohtaa, jossa prosentuaalisesti eniten jää happea elimistöön (Kuva 8).



Kuva 8. Korkein kohta, jossa prosentuaalisesti eniten jää happea elimistöön (True-O₂)

Yleisesti voidaan sanoa, että aerobisen kynnyksen määrittäminen ei ole kovin yleistä tutkimuksissa. Yleensä tutkimuksissa määritetään VO₂max sekä anaerobinen kynnyks, jonka oletetaan kuvastavan kestävyysominaisuuksia parhaiten.

Aerobisen kynnyksen määrittämiseen on käytetty useita menetelmiä, kuten laktaattinousukohtia (Bosquet 2002), 1mM lepolaktaattia korkeampaa arvoa aerobisen kynnyksen määrittämisessä (Yoshida ym.) (taulukko 2), 1mM tasoa yli perustason (Coyle ym.).

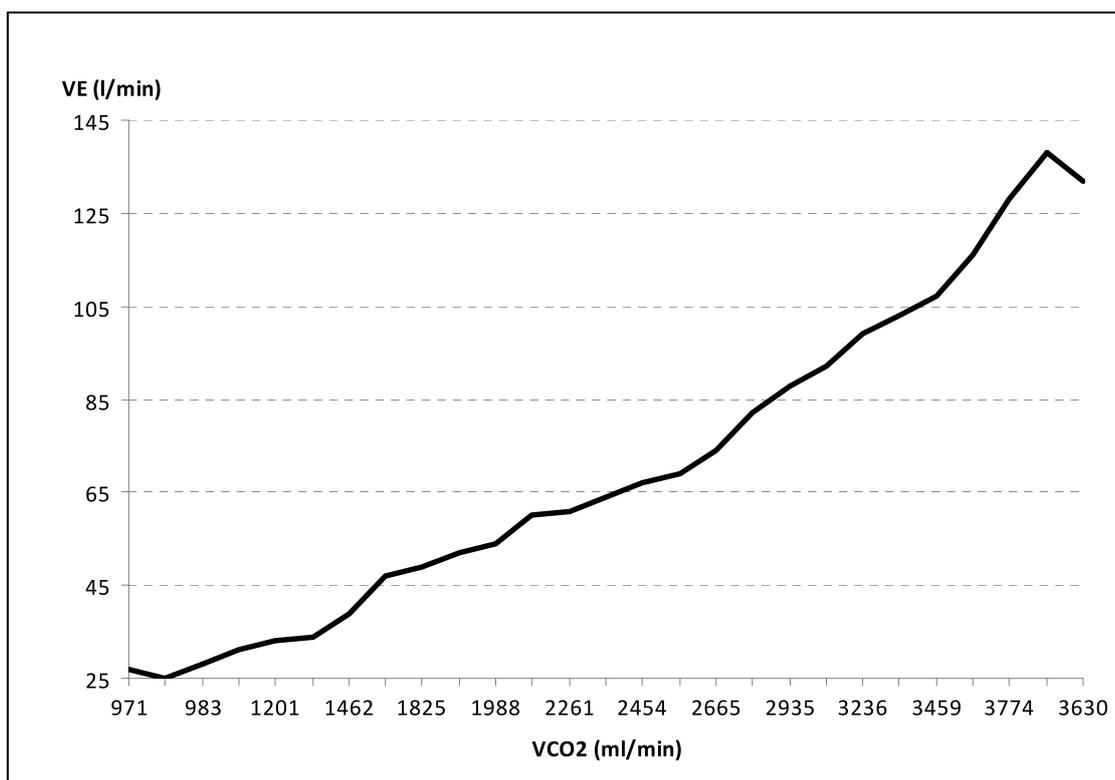
Seiler ym. 2006 tutki juniori hiihtäjien harjoittelua, jonka perusteella huomattiin hiihtäjien harjoittelun koostuvan alle 2mM eli alle aerobisen kynnyksen harjoittelusta 70–75%:sesti. Huomattavaa oli kuitenkin, että harjoiteltiin huomattavan vähän kynnyksen välissä (~7 %). (Seiler ym. 2006)

3.2. *Anaerobinen kynnys (AnK)*

Anaerobinen kynnys on hyvin yleisesti tutkimuksissa käytetty menetelmä kestävyyskunnan määrittämisessä. Wasserman & McIroy esittelivät termin anaerobinen kynnys vuonna 1964, jolla hengityskaasujen vaihdolla pystyttäisiin määrittelemään laktaatti kynnys. Suomessa anaerobista kynnystä kutsutaan ja merkitään AnK. Ulkomaisissa tutkimuksissa käytetään ja puhutaan yleensä 2.ventilaatiokynnyksestä (taulukko 3.), OBLA:sta (taulukko 2) (onset of blood lactate accumulation), anaerobinen kynnys (AT, AE), respiratorinen kompensatiokynnys (RCP) sekä intensiteetti, jolloin veren laktaattikonsentraatio nousee jyrkästi. Samalla laktaatin tuoton ja poiston tasapaino järkkyy ja laktaatin steady-state-tilaa (Lass) ei enää saavuteta (Baldari & Guidetti 2000).

Suomessa anaerobinen kynnys määritetään laktaatin jyrkkään nousukohtaan eli kohtaan, jossa saavutetaan laktaatin tuoton ja poiston tasapainon yläraja. Laktaatin suhteen määritetty anaerobinen kynnys taitaa olla yleisin käytössä oleva määritelmä tutkijoiden keskuudessa. Hengityskaasuja analysoitaessa, määritellään ventilaation lineaarisuudesta poikkeava muutoskohta suhteessa hiilidioksidin tuottoon. Lisäksi määritetään hapen ja hiilidioksidin ventilatoriset ekvivalenttien jyrkät nousukohdat.

Anaerobinen kynnys on hyvin yleisesti tutkimuksissa käytetty menetelmä kestävyyskunnan määrittämisessä. Ulkomaisissa tutkimuksissa käytetään ja puhutaan yleensä 2.ventilaatiokynnyksestä sekä respiratorinen kompensatiokynnyksestä (RCP). Hengityskaasuja analysoitaessa, määritellään ventilaation lineaarisuudesta poikkeava muutoskohta suhteessa hiilidioksidin tuottoon. Lisäksi määritetään hapen ja hiilidioksidin ventilatoriset ekvivalenttien jyrkät nousukohdat. Anaerobinen kynnys on ns. RCP, respiratory compensation point eli ventilaatio (y-akseli) vs. VCO_2 (x-akseli). (Kuva 9)



Kuva 9. Hiilidioksidin CO₂ ventilatorinen ekvivalentti RCP.

Carter ym. (2000) mielestä anaerobisen kynnyksen määrittäminen lepolaktaatin nousukohtasta kuvastaa parhaiten kestävyysuorituskykyä. Farrell ym. osoittivat tutkimuksissa, että laktaattikynnys korreloi maratonin aikaa ja vauhtia kestävyysjuoksijoilla. Powers ym. osoitti tutkimuksissaan, että AnK korreloi 10km:n juoksu aikaan. Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että anaerobinen kynnyks korreloi kilpailusuorituskykyä huomattavasti paremmin verrattuna VO₂max:siin, jonka korrelaatio kilpailusuorituksiin on osoitettu olevat 0.65–0.67 (Carter ym. 2000).

Osa tutkijoista käyttää AnK:n (OBLA) määrittämiseen 4mM arvoa. Tanaka ym. osoittivat tutkimuksissaan, että OBLA korreloi maratonin juoksuvahtia. Tutkimukset osoittivat myös sen, että 30-60min (3-5mM) voidaan suorittaa anaerobisen kynnyksen yläpuolella. Anaerobisen kynnykseen voidaan harjoittelulla helposti vaikuttaa. Yhdeksässä viikossa on tutkimusten perusteella VO₂max parannettua 25 % ja AnK:stä 44 %. Kestävyysurheilijoilla AnK kynnyks voi olla 70-80% tasossa VO₂max:ista (Kuva 12). (Davis 1985).

Mahdollisuus määrittää anaerobinen kynnys hengityskaasujen perusteella pidetään tärkeänä muuttujana. Parhaimpana keinona määrittää anaerobinen kynnys pidetään VE/VO₂ systemaattista nousukohtaa ilman, että VE/CO₂ nousee. (Davis1985). Tutkijoiden mielestä AnK määrittäminen hengityskaasujen ja sykkeen perusteella ei ole validi, koska hengityskaasumuuttujissa tapahtuvat muutokset ovat peräisin periferiasta ja mittauksen tulisi tehdä sieltä eli invasiivisesti. (Bosquet 2002).

Stegmann ym. (1981). määrittivät AnK määrittämiseen IAT (individual anaerobic threshold). Menetelmässä IAT määritetään nousevalla kuormituksella ja sen perusteella määritetään IATm (measurement, mittauskohta) ja IATa (antecedent, edellinen). IAT määritettiin olevan suurin mahdollinen metabolinen taso, jolla voidaan saavuttaa laktaatin steady-state-tila (Lass). Stegmann ym. (1981) määrittivät, että laktaatti pysyy vakiona 3min kuormitus tasojen lopussa. Baldari ym. pyrkivät määrittämään tulisiko kuormitus tasossa kynnys määrittää IATa vai IATm kohtaan, jotta Lass voitaisiin määrittää (Kuva 10 ja 11). Tutkimus osoitti, että IATa kuormituksella voitiin määrittää Lass-taso. IATm kuormitus tasolla Lass ei saavutettu. Tutkimus osoitti, että IATa saattaa aliarvioida anaerobisen kynnyksen (Kuva 11), mutta on hyvä tapa määritettäessä kestävyysharjoittelu tasoja. (Baldari & Guidetti 2000)

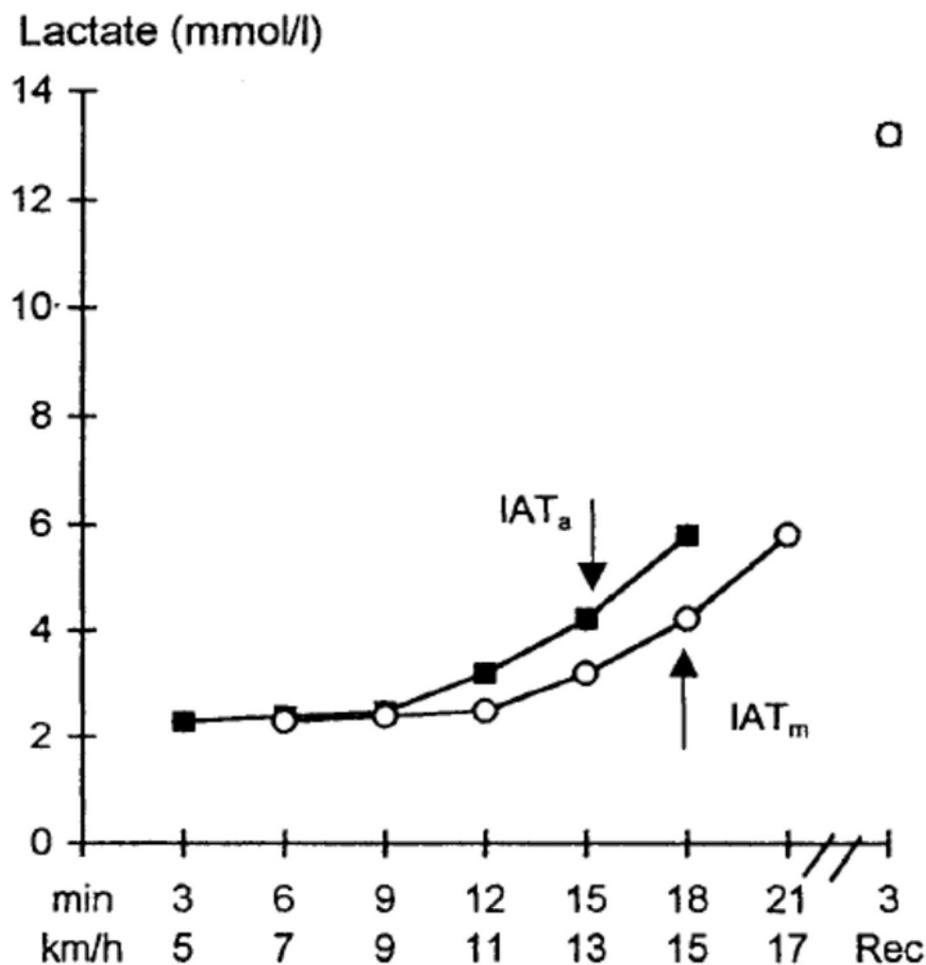


Figure 1—One male subject's data that show the determination of the individual anaerobic threshold (represented by the arrow) both as IAT_a (with each lactate value attributed to the previous workload) and IAT_m (with each lactate value as measured at each workload). Blood lactate value at 3 min of recovery (Rec) is also reported.

Kuva 10. AnK kynnysten määrittäminen IATa ja IATm mukaan (Baldari & Guidetti 2000).

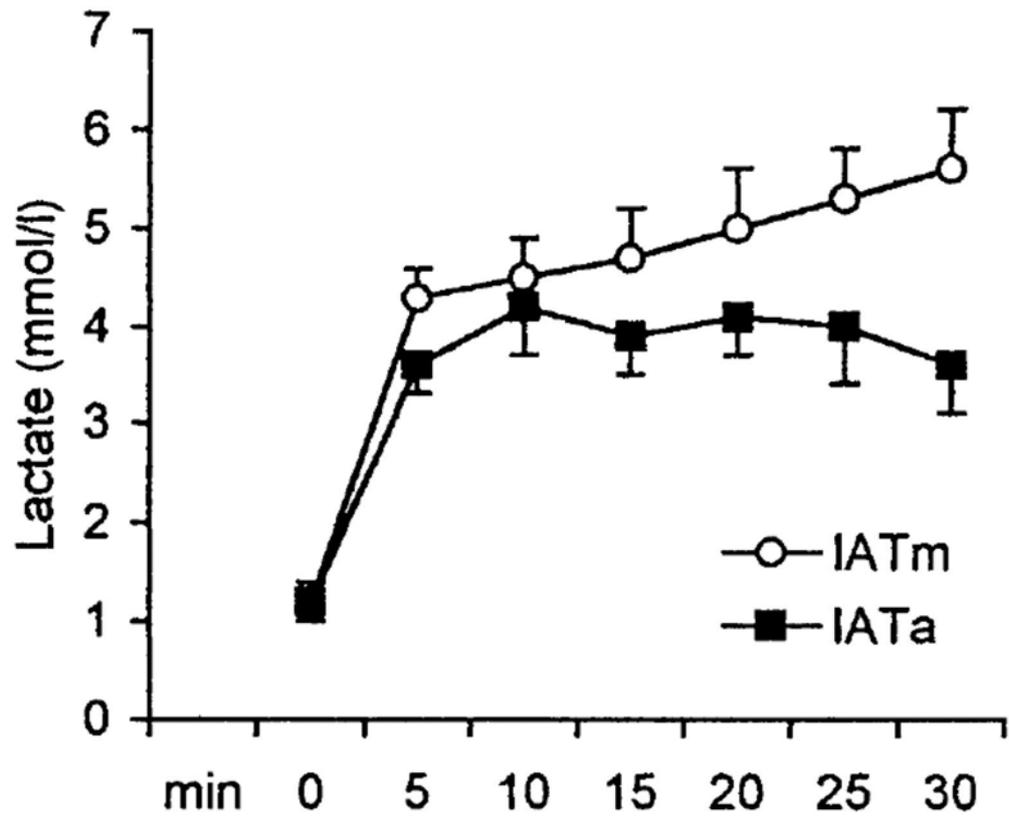


Figure 3—Male group's changes in blood lactate (mean values \pm SD) during the 30-min prolonged exercise on treadmill at an intensity of the IAT_a and IAT_m.

Kuva 11. Laktaatti IATa ja IATm mukaan määritetyssä työssä (Baldari & Guidetti 2000).

Taulukko 2. Yleiset eri tutkijoiden käyttämiä suonen sisäisiä menetelmiä anaerobisen kynnnyksen määrittämiseen (Bosquet ym. 2002).

Invasive methods

Owles ^[127]	Critical metabolic level
Williams et al. ^[139]	Lactate excess
Farrell et al. ^[18]	Onset of plasma lactate accumulation
Kinderman et al. ^[140]	Aerobic/anaerobic threshold
Ivy et al. ^[133]	Lactate threshold
Skinner and McLellan ^[141]	Aerobic threshold Anaerobic threshold
Sjödín and Jacobs ^[134]	Onset of blood lactate accumulation
LaFontaine et al. ^[142]	Maximal steady state
Stegmann et al. ^[135]	Individual anaerobic threshold
Jones and Ehrsam ^[143]	Owles point
Davis et al. ^[136]	Lactate turning point Lactate breaking point
Wasserman et al. ^[144]	Pyruvate threshold
Van Harn and Brooks ^[145]	Epi/norepinephrine threshold
Mader and Heck ^[146]	Transitional state
Simon et al. ^[147]	Plasma lactate threshold
Beaver et al. ^[148]	Bicarbonate threshold
Smith et al. ^[149]	Plasma ammonia threshold
Hughson et al. ^[137]	Lactate slope index
Tegtbur et al. ^[150]	Lactate minimum speed
Beneke ^[151]	Maximal lactate steady state

Taulukko 3. Ei suonensisäiset eri tutkijoiden käyttämiä menetelmiä anaerobisen kynnksen määrittämiseen (Bosquet ym. 2002).

Non-invasive methods

Holmann ^[152]	Point of optimum ventilatory efficiency
Wasserman and McIlroy ^[153]	Threshold of anaerobic metabolism
Wasserman et al. ^[128]	Anaerobic threshold
Reinhard et al. ^[154]	Threshold of decompensated metabolism acidosis
Skinner and McLellan ^[141]	Aerobic threshold
Sheen and Juchmes ^[155]	Hyperventilation threshold
Jones and Ehram ^[143]	Proportional limit
Conconi et al. ^[156]	Deflection velocity
Powers et al. ^[157]	Ventilatory threshold
Simon et al. ^[158]	Respiratory compensation threshold
Boulay et al. ^[159]	Ventilatory anaerobic threshold
McLellan and Skinner ^[160]	First and second ventilatory threshold
Gladden et al. ^[161]	Gas exchange threshold
Palka and Rogozinski ^[162]	Respiratory anaerobic threshold
Chicharro et al. ^[163]	Salivary threshold
Jones and Doust ^[164]	Breathing frequency breakpoint

4. HARJOITTELUN VAIKUTUKSET ELIMISTÖÖN

Kestävyysharjoittelun on todettu tutkimuksien mukaan parantavan suorituskykyä ja elämänlaatua. Tämä on todistettu sekä terveillä, että sairailta. Rastitesteillä voidaan osoittaa helposti harjoittelun vaikutukset elimistöön. Harjoittelun katsotaan lisäävän lihasmassaa sekä mitokondrioiden määrää. Verenkierto paranee elimistössä ja samalla sydämen rasitus pienenee. Lisäksi kestävyysharjoittelun katsotaan tutkimuksien mukaan pienentävän laktaatin tuottoa hiilidioksidin sekä vetyionien tuotannon vähenemisen seurauksena. Tämän seurauksena taas ventilaatio pienenee. Lisäksi kestävyysharjoittelun katsotaan parantavan ihmisten hyvinolon tunnetta. (McArdle 2006, 460-468)

Harjoittelulla voidaan helposti vaikuttaa kestävyys suorituskykyyn ja AnK:seen, jota pidetään kestävyysominaisuuksien parhaimpana mittarina. Huippu-urheilijoilla AnK kynnys voi nousta 70–80% VO₂max:isista. (McArdle 2006, 460–468)

Lihaksisto koostuu kahdesta pääsolutyypistä. Tyypin I lihassolut ovat oksitatiivisia lihassoluja ja ovat parhaimmillaan pitkissä ja toistuvissa suorituksissa. Tyypin II lihassolut taas toimivat nopeissa lihassupistuksissa ja nämä lihassolut tunnetaan glykolyttisinä ja nopeina lihassoluina. Harjoittelun seurauksena pystytään vaikuttamaan siihen, että tyypin IIb lihassolut, joilla oksitatiivinen kapasiteetti on heikko, saadaan muuttumaan osittain tyypin IIa lihassoluiksi, joilla taas on huomattavasti parempi oksitatiivinen kyky käyttää happea hyväksi energiantuotannossa. Harjoittelun seurauksena myös tyypin I lihassoluissa tapahtuu muutoksia. Tyypin I lihassoluissa mitokondrioiden määrä ja koko kasvaa, samalla myös entsyymi konsentraatio kasvaa lihassoluissa. Entsyymien määrän kasvu saa aikaan Krepsin syklin tehostumisen ja elimistön kyky käyttää rasvahappoja oksitatiiviseen energiantuotantoon paranee. Lihaksiston myoglobiini taso nousee harjoitelluissa lihaksissa, samalla lihaksiston kyky käyttää happea hyväksi paranee. Lihaksistossa lisääntyy myös pienten kapillaarien määrä lihaksen koon kasvamisen seurauksena sekä uusien kapillaarien muodostumisen myötä. Tästä seuraa lisäksi se, että diffuusio etäisyys hapen lähteestä kapillaar-

reista mitokondrioihin pienenee. Nämä rakenteelliset ja biokemialliset muutokset näkyvät vain harjoitelluissa lihaksissa, täten harjoittelun tulee olla spesifistä ja kohdistua haluttuun lihakseen, muutoin muutoksia ei ole nähtävissä. Harjoittelulla voidaan vaikuttaa myös kehon koostumukseen yleisestikin, lisäksi harjoittelun vaikutuksesta sydämen koko ja kammiokoko kasvaa. Kehon koostumuksessa on havaittavissa rasvan väheneminen ja lihasten massan ja koon kasvua. (McArdle 2006, 460–468)

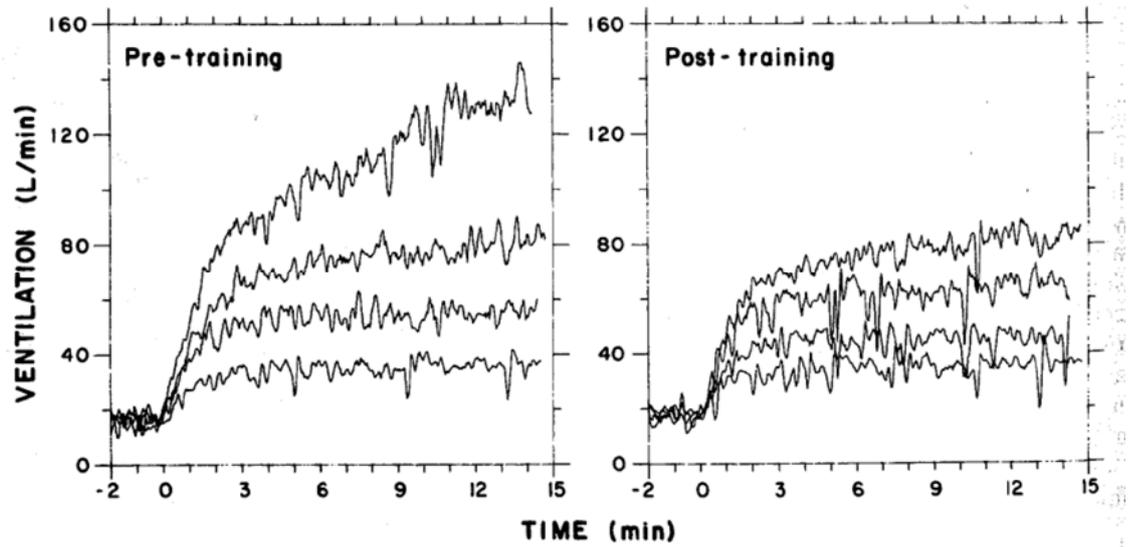
Kestävyysharjoittelun seurauksena on havaittavissa sydämen minuuttitilavuuden kasvua maksimaalisessa suorituksessa. Sydämen iskutilavuus kasvaa myös levossa sekä suorituksessa jokaisella kuormalla. Lisäksi systolinen ja diastolinen verenpaine laskee harjoittelun seurauksena. Samalla syke pienenee vastaavalla kuormalla suorituksen aikana, tämä johtuu paremmasta lihaksiston verenkierrosta. (McArdle 2006, 460–468)

Kestävyysharjoittelun seurauksena on havaittavissa parantunutta hapen kuljetusta mitokondrioille sekä parantuneeseen mitokondrioiden aerobiseen aineenvaihduntaan. Tästä seuraa myös se, että anaerobinen aineenvaihdunta kynnyksenä siirtyy isommalle kuormitukselle (Sullivan 1995). Tämä voidaan osoittaa sillä, että samalla kuormalla laktaatti pitoisuus pienenee harjoittelun seurauksena (Casaburi ym. 1987).

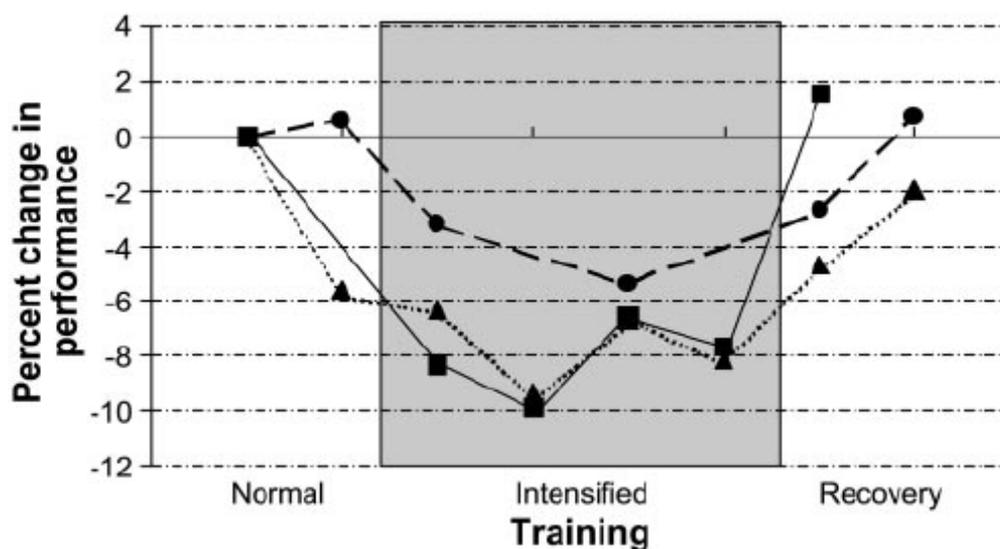
Kestävyysharjoittelu parantaa maksimaalista hapenottoa, johtuen valtimolaskimo happipitoisuuden eron kasvamisesta sekä sydämen maksimaalinen teho kasvaa. Terveillä ihmisillä maksimaalinen hapenotto harjoittelun seurauksena saattaa parantua 8–15 %. Anaerobisen kynnyksen alapuolella ei ole havaittavissa merkittäviä eroja hapenotossa, mutta anaerobisen kynnyksen yläpuolella havaitaan harjoittelulla olevan merkittävä parantava tekijä. Anaerobisen kynnyksen yläpuolella hapenotto pienenee vastaavalla kuormalla kuin ennen harjoittelua (Casaburi ym. 1987).

Harjoittelun seurauksena ventilaatio pienenee suhteessa hiilidioksidin tuottoon. Laktaatin tuotto pienenee ja samalla vetyionien muodostuminen vähenee, tästä johtuen hyperventilaatio vähenee samalla kuormalla kuin ennen harjoittelua. Tästä johtuen

valtimon hiilidioksidi osapaine kasvaa anaerobisen kynnyksen yläpuolella harjoittelun seurauksena (Casaburi ym. 1987).



Kuva 12. Kestävyysharjoittelun vaikutus ventilaatioon. Vasemmassa kuvassa on esitetty arvot ennen harjoittelua 95, 148, 191, 233 W tehoilla. Oikeassa kuvassa on esitetty arvot 8 viikon kestävyysharjoittelun jälkeen. Kuvista huomataan dramaattinen ventilaation lasku isoilla tehoilla tehdyssä työssä. (Casaburi ym. 1987)



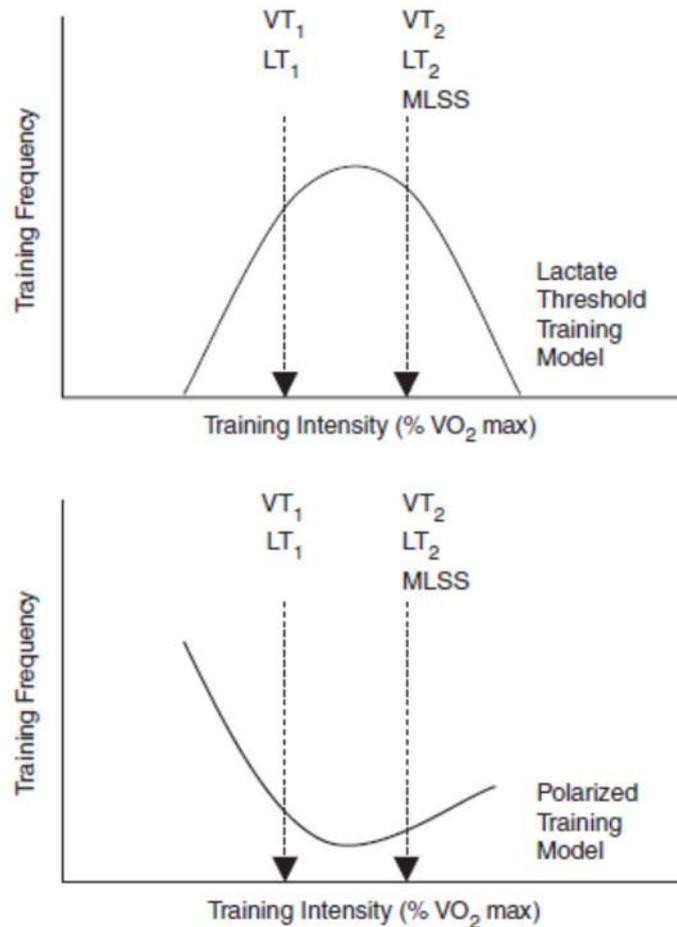
Kuva 13. Harjoittelun vaikutukset suorituskykyyn testeissä pyöräilijöillä erilaisten harjoittelu jaksojen aikana. Maksimaalisentestin MT katkoviivalla, aika-ajo testin TT yhtenäisellä viivalla sekä intervallitestien tulokset IT pisteviivalla on osoitettu kaaviossa (Halsen ym. 2002)

Tutkimuksissa on osoitettu, että harjoittelulla on vaikutusta testituloksiin. Ylikunnon ja liikarasituksen vaikutukset suorituskykyyn saattavat olla merkittävät. Kirjallisuudessa on tutkittu erilaisten rasitustilojen vaikutusta suorituskykyyn ja tulokset osoittavat, että suorituskyvyn lasku voi olla 8-27 % riippuen rasituksen määrästä ja tavasta. Tutkimuksissa on raportoitu RPE nousua submaksimaalisella tasolla sekä maksimisykkeen laskua, tämä näkyy laskeneena tehona testien aikana. Joissain tutkimuksissa oletetaan autonomisen hermoston vaikuttavan sykkeen laskuun rasitustilassa. Osassa tutkimuksia on osoitettu plasmavolyymien laskua yllirasitustilassa. Tutkimuksissa on löydetty yhteys alentuneeseen sykkeen ja lisääntyneen veren määrän välillä, tätä ei ole kuitenkaan pystytty vahvistamaan, johtuuko tämä kuormituksen nostosta vai yllirasitustilasta. (Halsen ym. 2002)

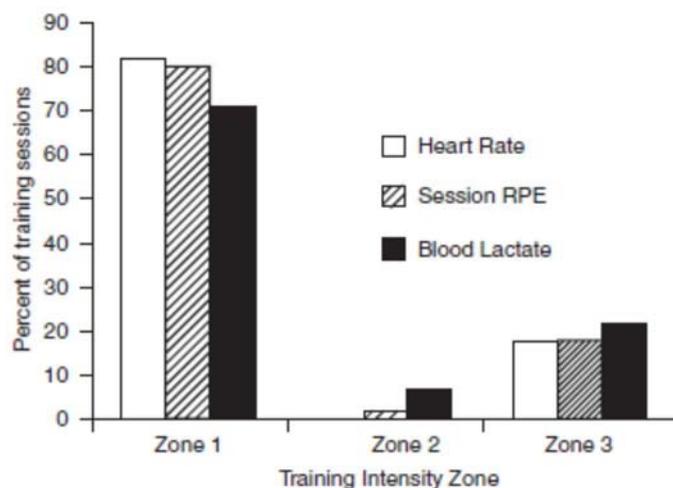
4.1. Harjoittelun määrä ja intensiteetti

Kirjallisuudessa kestävyysharjoittelumallit voidaan jakaa kahteen eli kynnysharjoitteluun, jossa harjoitellaan paljon kynnysten välissä sekä polarisoituun harjoitteluun,

jossa harjoitellaan merkittävän paljon aerobisen kynnyksen alapuolella sekä maksimi tehoilla. Tätä on tutkittu useissa tutkimuksissa eri urheilijoilla polarisoitu malli näyttää olevan yleisemmin käytössä oleva harjoittelumalli eri lajin urheilijoilla (Kuva 14 ja 15).



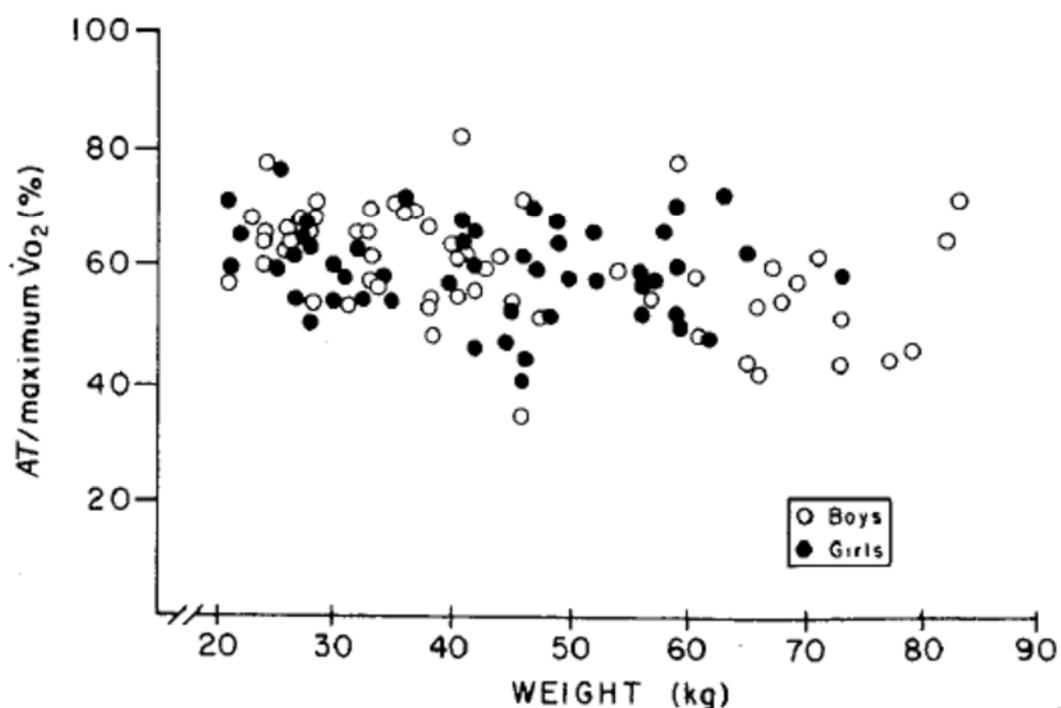
Kuva 14. Harjoittelu voidaan jakaa kahteen malliin a) kynnysharjoitteluun, jossa harjoitellaan paljon kynnyksen välissä sekä b) polaroituun harjoitteluun, jossa harjoitellaan merkittävän paljon aerobisen kynnyksen alapuolella sekä maksimi tehoilla (Seiler ym. 2004)



Kuva 15. Harjoittelun intensiteetti 60 harjoituksen aikana nuorilla hiihtäjillä, mitattuna sykkeestä, RPE:stä sekä laktaatista. Merkittävää eroa ei löytynyt eri metodien välillä tehdyissä tarkasteluista. Sykkeen perusteella mitattuna harjoittelua ei ollut tasolla 2 ollenkaan tutkimuksen aikana. (Seiler ym. 2004)

Harjoittelun tulisi olla kuitenkin monipuolista ja kehittävää sekä innoittavaa, jotta harjoittelusta saataisiin paras teho irti. Paavolainen 1991 on tutkimuksissaan osoittanut, että kimmoisuus ja voimaharjoittelu sekä räjähtävävoimaharjoittelu ovat tärkeää kestävyysurheilijoille maksimaalisen hyödyn saamiseksi.

Anaerobisen kynnyksen määrittäminen maksimaalisesta VO_2 voi olla vaikeaa. Tutkijat ovat useissa tutkimuksissa osoittaneet, että anaerobisen kynnyksen on 40–80% kohdalla verrattuna maksimaaliseen hapenottokykyyn. Joillakin anaerobinen kynnyksen on havaittu jo kävelyvauhtisen suorituksen aikana 40 % tasolla maksimaalisesta hapenottokyvystä (Wasserman ym. 2005). Suorituksen ja suorituksessa käytettävien lihaksen vaikuttavat myös osaltaan anaerobiseen kynnykseen. Tutkijat ovat osoittaneet, että pyöräilytesteissä keskiarvo on noin 64 % maksimaalisesta hapenotosta ja käsi-pyöräilyssä 49 % maksimaalisesta hapenotosta sekä juoksumatolla tehdyissä testissä 59 % maksimaalisesta hapenotosta (Davis ym. 1976). (Kuva 16)

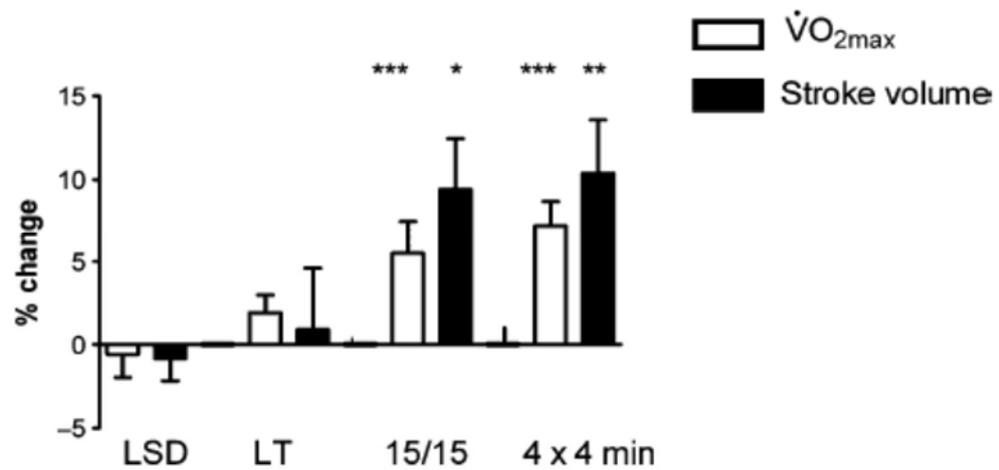


Kuva 16. Anaerobinen kynnyks suhteessa maksimaaliseen hapenottoon, nuorilla pojilla ja tytöillä. (Cooper ym. 1968)

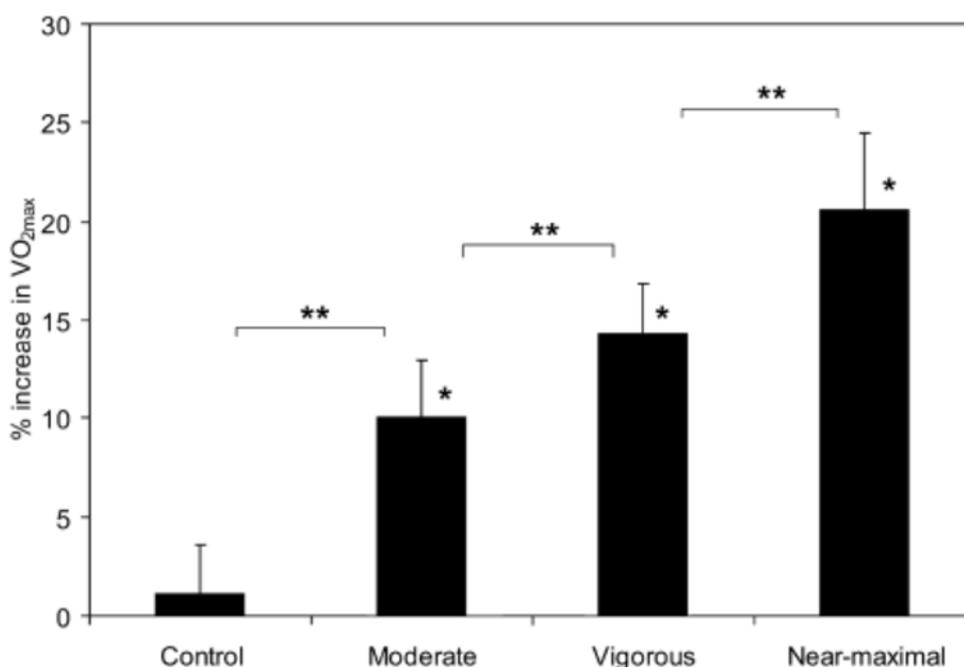
5. HARJOITTELUN VAIKUTUKSET HENGITYSKAASUJEN KINETIIKKAAN

Useissa tutkimuksissa on pyritty selvittämään harjoitus intensiteetin vaikutuksia suorituskykyyn ja hengityskaasujen kinetiikkaan. (Kuva 17, 18, 19) (Taulukko 4). Tutkimukset selvästi osoittavat, että kovalla intensiteetillä harjoiteltaessa voidaan parantaa maksimaalista hapenottoa selvästi enemmän kuin pitkä kestoisella kestävyysharjoittelulla alle aerobisen tason. (Kuva 17 ja 18)

Tuloksista on selvästi nähtävissä, että intervalliharjoittelu parantaa maksimaalista hapenottoa selvästi parhaiten, lisäksi tutkimuksista näkee selvästi sen, että maksimaalisen hapenoton kasvu on vahvasti yhteydessä iskuilavuuden kasvuun. (Helgerud ym. 2007), (Gromley ym. 2008) (Kuva 17)



Kuva 17. VO₂maxin sekä iskutilavuuden prosentuaaliset parannukset ennen ja jälkeen 8 viikon (3krt/v) harjoittelun eri ryhmien välillä. Hidasvauhtisen pitkät harjoitukset 70 % HRmax LSD, Anaerobisen kynnyksen harjoittelu 85 % HRmax LT, 15/15 intervalliharjoittelu 90–95%HRmax sekä 4*4min intervalliharjoittelu 90–95%HRmax. (Helgerud ym. 2007)

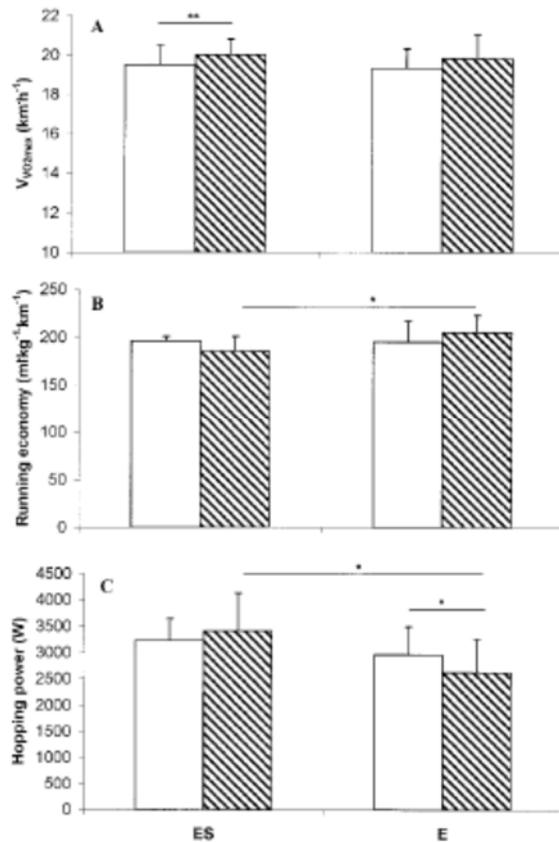


Kuva 18. VO_{2max} prosentuaaliset muutokset 4 viikon (4krt/v) harjoittelun jälkeen. 50% VO₂ reservistä (Moderate), 75% VO₂ reservistä (Vigorous) sekä 95% VO₂ reservistä (Near-maximal). (Gromley ym. 2008)

Taulukko 4. 14 viikon harjoittelun vaikutus kestävyystestissä mitattuihin arvoihin kestävyys ja voimaharjoitus ryhmällä sekä vain kestävyysharjoittelua tehneillä. (Millet ym. 2002)

	Incremental Test to Exhaustion			
	$\dot{V}O_{2max}$ (mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	VT ₂ (% $\dot{V}O_{2max}$)	HR (bpm)	RPE (points)
ES (N = 7)				
Pretraining	69.7 ± 3.6	88.4 ± 2.8	189 ± 10	16.0 ± 1.4
Posttraining	67.2 ± 4.4	88.1 ± 5.0	189 ± 11	16.3 ± 0.5
E (N = 8)				
Pretraining	67.6 ± 6.4	89.3 ± 8.1	190 ± 5	16.5 ± 1.7
Posttraining	67.3 ± 5.6	88.8 ± 6.4	189 ± 5	16.5 ± 1.4

Values are means ± SD. $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake; VT₂, second ventilatory threshold; HR, maximal heart rate; RPE, rating of perceived exertion.



Kuva 19. 14 viikon harjoitteluohjelman aikaansaamat muutokset vauhtiin, juoksun taloudellisuuteen sekä hyppy tehoon. (Millet ym. 2002)

Harjoittelun spesifisyydestä on useita tutkimuksia ja useimmat tutkimukset osoittavat, että harjoittelun tulee olla spesifistä, jotta sillä saavutettaisiin haluttu lopputulos. Myös harjoittelun monipuolisuudesta tulevat hyödyt on osoitettu useissa tutkimuksissa. Millet 2002 tutki voimaharjoittelun ja kestävyysharjoittelun yhdistämistä ja osoitti tutkimuksessaan, että juoksun taloudellisuus ja maksimivoima paranivat yhdistelmäharjoittelun myötä (Kuva 20) (taulukko 4). Tutkimuksessa ei kuitenkaan löydetty yhdistelmäharjoittelulla olevat vaikutusta hengityskaasu kinetiikkaan maksimisuorituksessa. Millet ym. 2002)

6. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Varusmiespalvelus alkaa peruskoulutuskaudella, jonka tavoitteena on antaa varusmiehille tarvittavat valmiudet toimia miehistötehtävissä. Peruskoulutuskauden pituus on kahdeksan viikkoa kaikilla varusmiehistä. Fyysisen koulutuksen painopiste on peruskoulutuskaudella kestävyuden ja lihaskunnan kehittämässä sekä perusliikuntataitojen oppimisessa. (Puolustusvoimat 2013). Varusmiespalveluksen peruskoulutuskauden yksilöllisestä kokonaiskuormittavuudesta ei ole riittävästi tietoa (Tanskanen ym. 2009).

Tämän pro gradu -tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää varusmiespalveluksen fyysisen kuormituksen vaikutukset aerobiseen ja anaerobiseen kynnykseen, koska kynnykset ja niiden muutokset katsotaan tutkimuksissa vastaavan kestävyyskunnan muutoksia parhaiten. Tavoitteena oli selvittää, onko peruskoulutuskausi kestävyyskuntoa kohottava ja selvittää kumpi jakotapa tasoryhmä vai BMI-luokka soveltuu varusmiehille paremmin. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, onko kuormitus riittävää ja jatkuuko kestävyyskunnan kehittyminen aina 8 viikkoon saakka.

Kynnysten määrittäminen on validi tapa sekä toistettava tapa seurata kestävyyskunnan muutoksia. Erityisesti tutkimuksessa haluttiin:

- I) Määrittää aerobinen kynnykset testiviikoilta 1, 5 ja 8.
- II) Määrittää anaerobinen kynnykset testiviikoilta 1, 5 ja 8.
- III) Arvioida aerobisella kynnyksellä tapahtuneet muutokset aikaan, sykkeeseen ja hengityskaasujen kinetiikkaan
- IV) Arvioida anaerobisella kynnyksellä tapahtuneet muutokset aikaan, sykkeeseen ja hengityskaasujen kinetiikkaan
- V) Arvioida aerobisen ja anaerobisen kynnyksen muutokset tasoryhmässä ja BMI-luokassa

7. MENETELMÄT

Muuttujia tarkasteltaessa päädyttiin tarkastelemaan viikkojen 1, 5 ja 8 tietoja. Näin saatiin kaikille tutkittaville samoilta testiviikoilta vertailukelpoinen tulos. Lisäksi näiden kahdeksan viikon aikana oli kaikilla ollut samanlainen peruskoulutus jakso. Koehenkilömäärä oli 34 henkilöä.

Peruskoulutuskauden kynnyksien arvioinnissa hyödynnettiin tutkittavien maksimaalisen hapenottokyvyn testejä sekä niiden perusteella arvioituja aerobisista- ja anaerobista kynnystä testiviikoilla. Näiltä määritellyiltä kynnyksiltä määritettiin kynnyksien aika testin alkukohdasta, syke sekä hiilidioksidin ja hapen ventilaatioekvivalentit.

7.1. *Tutkittavat*

Henkilöt jaettiin aktiivi-, harraste- ja perusrhymiin varusmiespalvelusta edeltävän liikunta-aktiivisuuden perusteella (International Physical Activity –kysely, Craig ym. 2003). Lisäksi henkilöt mitattiin palvelukseen astumisessa. Tämän mittauksen perusteella heidän myös jaettiin BMI-luokkaan matala-, normaali- ja korkealuokkaan. Matalaluokkaan valittiin henkilöt joiden BMI indeksi oli alle 23 (N=11). Normaaliluokkaan valittiin henkilöt joiden BMI indeksi oli suurempi kuin 23, mutta pienempi kuin 25,8 (N=13). Korkealuokkaan valittiin henkilöt joiden BMI indeksi oli yli 25,8 (N=10). Varusmiehille kerrottiin tutkimuksen sisältö ja he antoivat kirjallisen suostumuksensa tutkimukseen. Heille myös kerrottiin mahdollisuudesta keskeyttää tutkimus milloin tahansa. Tutkimusprotokolla hyväksyttiin Suomen Puolustusvoimilla sekä Jyväskylän yliopiston ja Kainuun maakuntayhtymän eettisillä toimikunnilla.

7.2. *Tutkimusprotokolla*

Tutkimus kesti peruskoulutuskauden ajan eli ensimmäiset 8 viikkoa varusmiespalveluksesta. Peruskoulutuskauden alussa, keskivaiheilla ja lopulla (viikoilla 1, 5 ja 8) tutkittavat osallistuivat testeihin, joissa mitattiin maksimaalinen aerobinen suoritus-

kyky. Kahdeksan viikkoa kestävä peruskoulutuskausi koostui pääosin yleissotilaallisesta koulutuksesta, huolto-, liikunta- ja taistelukoulutuksesta sekä ase- ja ampumakoulutuksesta. Testien perusteella määritettiin aerobinen kynnyks ja anaerobinen kynnyks. Näiltä kynnyksiltä tutkittiin jokaisen viikon osalta aika, syke sekä ventilaatioekvivalentit.

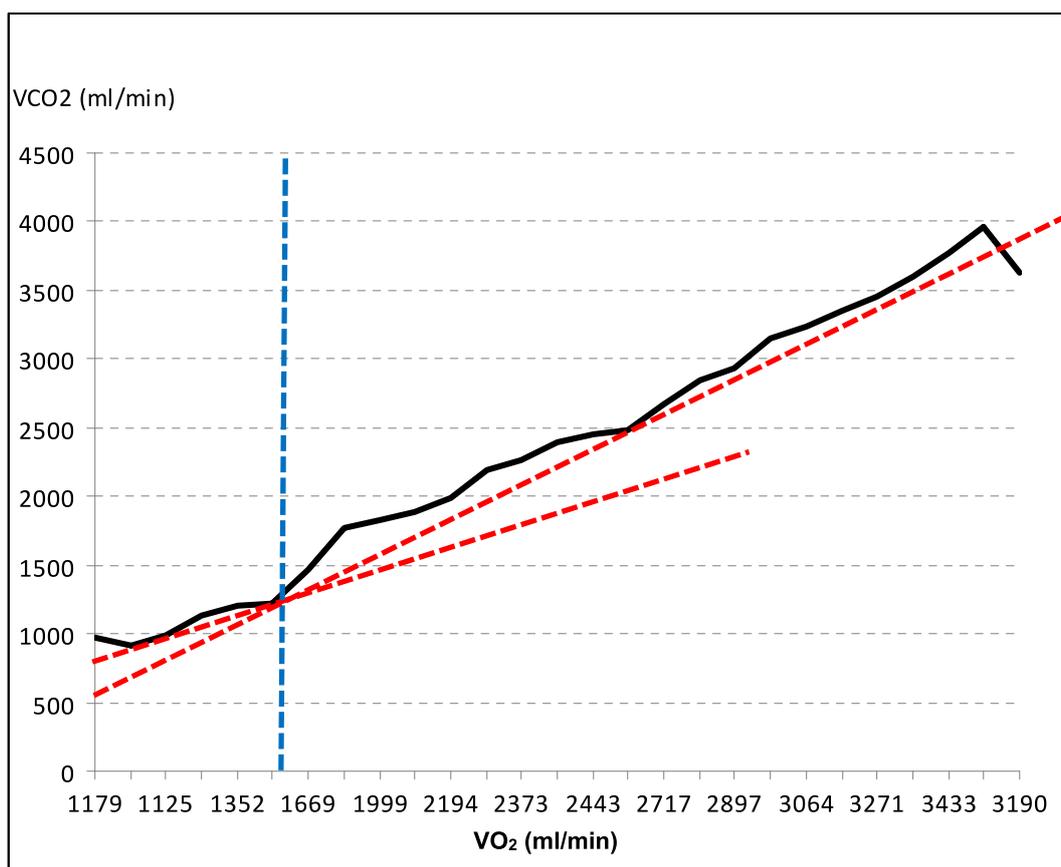
7.3. Mittaukset

Tutkittavien paino mitattiin 0.1 kg tarkkuudella (Model 758CSV, Detecto, USA) kevyessä vaateuksessa (t-paita, housut). Pituuden mittaus tehtiin 0.5 cm tarkkuudella seinään kiinnitettävän stadiometrin avulla. BMI laskettiin painon ja pituuden neliön osamääränä eli sen yksikkö on kg/m^2 .

Maksimaalisen hapenottokyvyn sekä aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseksi koehenkilöt suorittivat juoksumattotestin uupumukseen asti kolme kertaa peruskoulutuskaudella viikoilla 1, 5 ja 8. Hengityskaasu- ja –tilavuusdata mitattiin jatkuva-aikaisesti hengitys hengitykseltä (hengityskaasuanalysaattori, Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa). Varusmiesten sydämen sykettä testin aikana mitattiin 5 sekunnin intervalleissa sykemittarilla (Polar810i, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Juoksumattotestin lämmittely sisälsi kolmen minuutin kävelyn nopeudella 4.6 km/h ja kolmen minuutin kävelyn/hölkän nopeudella 6.3 km/h. Lämmittelyn jälkeen kuormituksen intensiteettiä kasvatettiin kolmen minuutin välein teoreettisen hapenkulutuksen (6 ml/kg/min) mukaisesti (ACSM 2001) uupumukseen asti. Valintaperusteena syke- ja hengityskaasu arvojen tarkastelulle ovat aikaisempien tutkimusten tulokset, jotka ovat osoittaneet kyseisten muuttujien olevan luotettavia kuvaamaan fyysistä kuntoa. Lisäksi haluttiin tarkastella hapen ja hiilidioksidin ventilaatioekvivalenteja, joiden on havaittu korreloivan mm. liikalihavuuden ja keuhkojen toimintahäiriöiden kanssa (Wesserman ym. 2005), mutta joista kuitenkin on melko vähän tutkimustietoa.

7.4. Aerobinen kynnys (AerK)

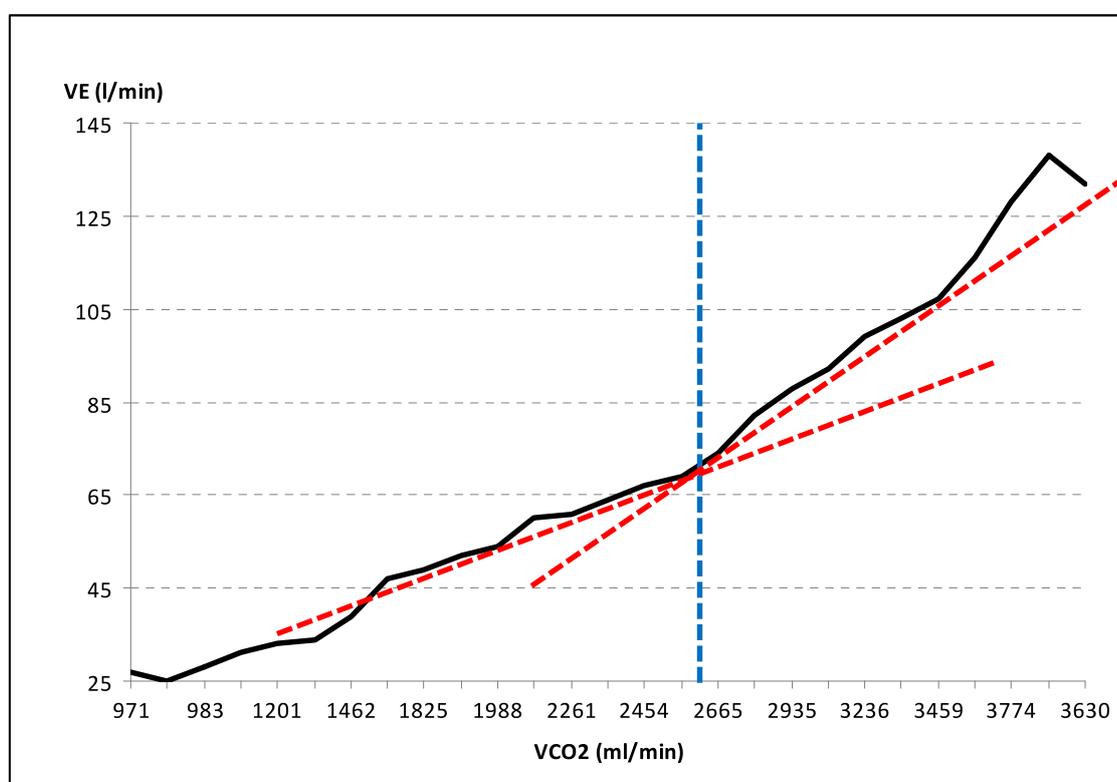
Maksimaalisista hapenottotestin hengityskaasuarvoista määritettiin hapenkulutus ja hiilidioksidin tuotto sekä laskettiin ventilaatioekvivalentit. Aerobinen kynnys määritettiin Vslope menetelmällä. Vslope määritettiin hengityskaasu- ja -tilavuusdata mittauksista jatkuva-aikaisesti hengitys hengitykseltä (hengityskaasuanalysointori, Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa). Ohjelmalla määritettiin automaattitoiminnolla kynnyskohta ja ajanhetki, josta määritettiin tutkittavat muuttujat. Punaiset katkoviivat ovat vasemman ja oikean puoleisen osan regressiosuorat. Vasen (sininen) pystyviiva on vasemman ja oikeanpuoleisen suoran leikkauspiste eli menetelmän ilmoittama aerobinen kynnys. (Kuva 20)



Kuva 20. VCO₂ tuotto suhteessa VO₂ kulutukseen (VSlope). Suorien leikkauskohta, sininen katkoviiva ja punainen katkoviiva (risteyskohta), kuvastaa aerobista kynnystä.

7.5. Anaerobinen kynnys (AnK)

Anaerobinen kynnys määritettiin ventilaation ja VCO_2 :n avulla hengityskaasu- ja -tilavuusdata mittauksista jatkuva-aikaisesti hengitys hengitykseltä (hengityskaasu-analysointilaitteisto, Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa). Ohjelmalla määritettiin automaattitoiminnolla kynnyskohta ja ajanhetki, josta määritettiin tutkittavat muuttujat. Punaiset katkoviivat ovat vasemman ja oikean puoleisen osan regressiosuorat. Vasen (sininen) pystyviiva on vasemman ja oikeanpuoleisen suoran leikkauspiste eli menetelmän ilmoittama anaerobinen kynnys (Kuva 21)



Kuva 21. Hiilidioksidin CO_2 ventilatorinen ekvivalentti. Suorien leikkauskohta, sininen katkoviiva ja punainen katkoviiva (breakpoint kohta), kuvastaa anaerobista kynnystä.

Maksimaalinen aerobinen suorituskyky (VO_{2max}) mitattiin juoksumattotestin avulla. Tutkittavan juoksumattotesti tehtiin testiviikkojen jokaisena testipäivänä samana ajankohtana. Lämmittely sisälsi kolmen minuutin kävelyn nopeudella 4.6 km/h ja kolmen minuutin kävelyn/hölkän nopeudella 6.3 km/h. Lämmittelyn jälkeen kuormituk-

sen testin intensiteettiä kasvatettiin kolmen minuutin välein teoreettisen hapenkulutuksen (6 ml/kg/min) mukaisesti (ACSM 2001) uupumukseen asti. Keuhkojen ventilaatio- ja hengityskaasudata mitattiin jatkuva-aikaisesti henkäys-henkäykseltä (hengityskaasuanalysointilaite, Jaeger Oxygen Pro; Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa). Juoksumattotestin aikana sykettä mitattiin viiden sekunnin tallennusvälein (Polar810i; Polar Electro Oy, Kempele, Suomi). Lisäksi testissä tutkittavien veren laktaattipitoisuus mitattiin minuutti testin päättymisestä (LactatePro®, Arkray, Japani). Juoksumattotestin maksimaalisuuden kriteerit täytyivät, kun sykearvo ei kasvanut juoksumaton nopeuden tai kulman kasvattamisesta huolimatta, hengitysosamäärä oli suurempi kuin 1.1 ja maksimitestin jälkeen mitattu veren laktaatti oli korkeampi kuin 8 mmol/l.

7.6. Tilastolliset menetelmät

Tutkittavat luokiteltiin tilastollista analysointia varten useaan eri luokkaan. Tutkittavat jaettiin tasoryhmiin, aktiivi, harraste ja perus, ennen varusmiespalvelusta olleen itsearvioidun liikunta-aktiivisuuden perusteella (International Physical Activity –kysely, Craig ym. 2003). Lisäksi tutkittavat jaettiin kolmeen BMI-luokkaan, matala, normaali ja korkea, peruskoulutuskauden ensimmäisellä viikolla mitatun BMI indeksin perusteella. BMI-luokkajako määritettiin peruskoulutuskauden alussa lasketun paino indeksin perusteella: BMI<23.0, BMI=23.0 - 25.8 ja BMI>25.9.

Tilastolliseen tarkasteluun käytettiin PAWS Statistics 18.0.0. – ohjelmaa (SPSS Inc., Chicago, IL). Tuloksista laskettiin muuttujien keskiarvot ja -hajonnat (KA±SD). Harjoittelun (testiviikot 1, 5 ja 8), tasoryhmän (aktiivi, harraste, perus) ja BMI-luokan (matala, normaali ja korkea) vaikutusta mitattaviin muuttujiin tarkasteltiin General Linear Model (GLM) monisuuntaisella vertailuanalyysillä. Kynnyksen ajan, syke- ja ventilaatioekvivalenttien muutosten yhteyttä tutkittiin pareittain toisiansa vertailemalla analyysillä. Merkitsevyysrajoina pidettiin $p<0.05^*$, $p<0.01^{**}$ ja $p<0.001$. Kynnyksen ajan, syke- ja ventilaatioekvivalenttien muutosten yhteyttä ja tilastollista merkittävyyttä tutkittiin molempien luokan sisällä eri ryhmien välillä sekä ryhmän testi- viikkojen välillä viikosta 1 viikkoon 5, viikosta 5 viikkoon 8 ja viikosta 1 viikkoon 8.

Muuttujien ja aerobisen kuntotason ($VO_2\max$) välisiä yhteyksiä tarkasteltiin aerobisella- ja anaerobisella kynnyksellä korrelaatiokertoimella. Merkitsevyysrajoina pidettiin $p<0.05$, $p<0.01$ ja $p<0.001$.

8. TULOKSET

Kaikki tämän tutkimuksen hapenottokyvyn testit täyttivät asetetut maksimaalisuuden kriteerit.

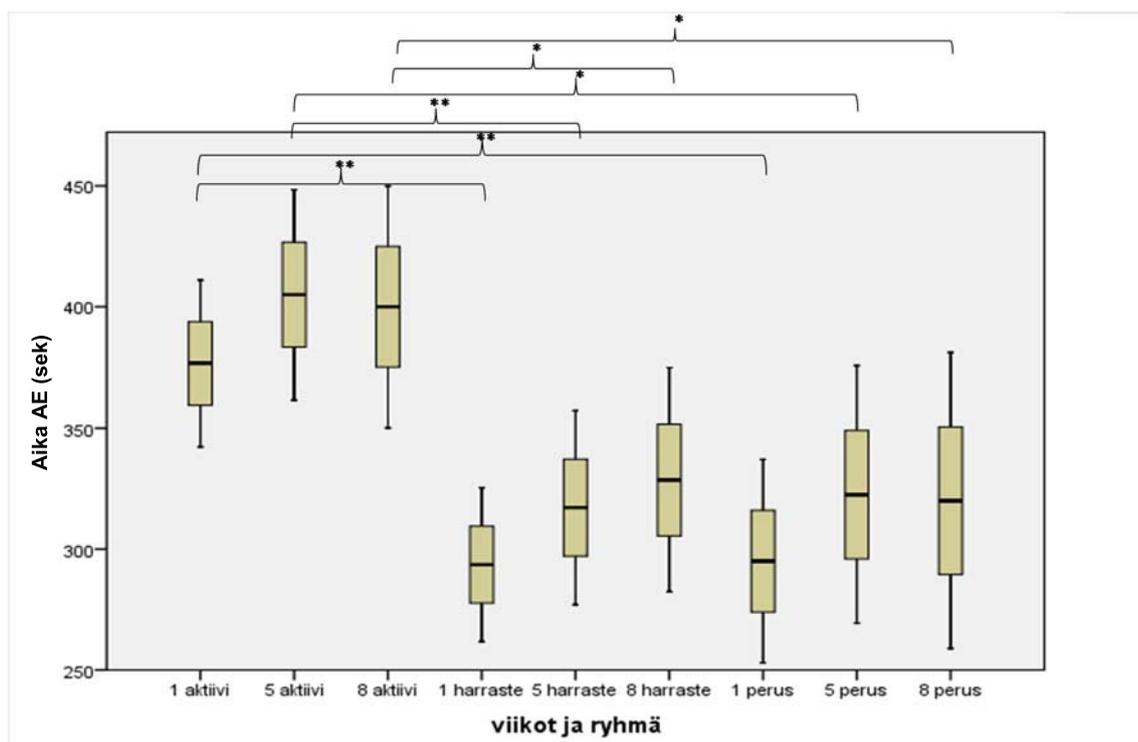
8.1. Peruskoulutuskauden aerobinen kynnys (AE)

Kaikkien kolmen (viikot 1, 5 ja 8) testikerran aerobinen kynnys saatiin 34 koehenkilöltä. Koehenkilöt oli jaettu tasoryhmiin (aktiivi, harraste ja perus) sekä BMI-luokkiin (matala, normaali ja korkea).

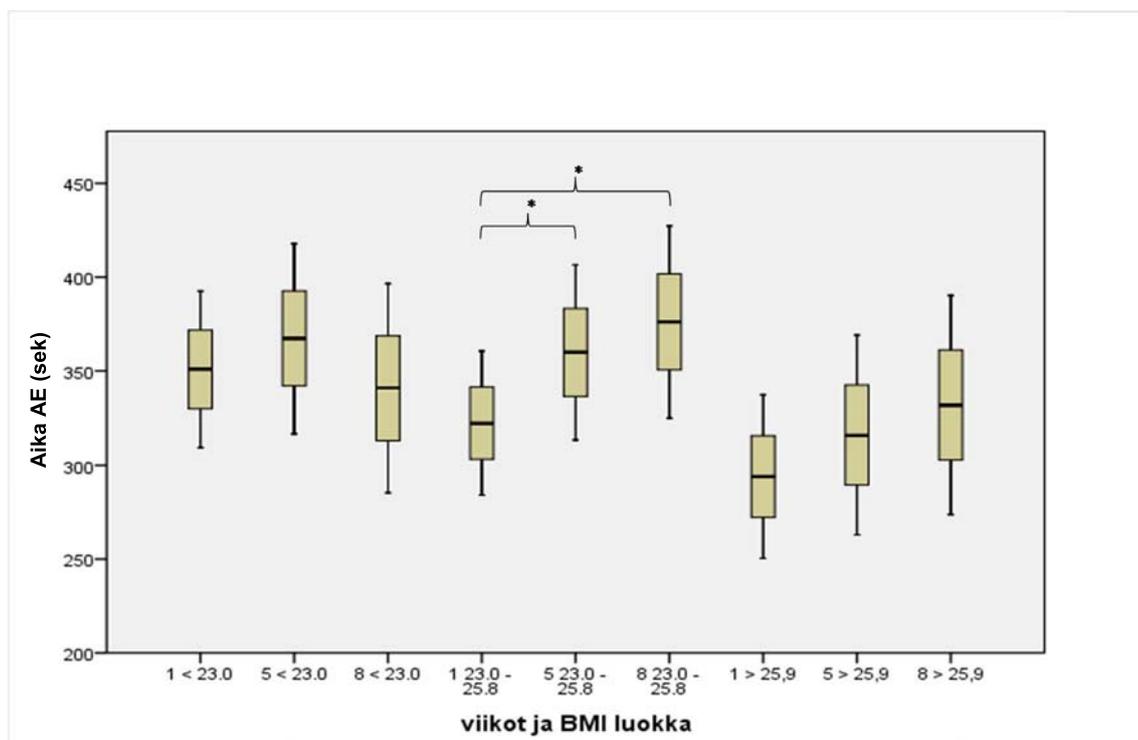
Harjoittelulla sinänsä oli tilastollisesti merkittävä päävaikutus aerobiseen kynnykseen normaali BMI-luokassa ($p < 0.05$). Normaaliluokalla aika aerobisella tasolla oli viikoilla 5 ja 8 parempi kuin viikolla 1 ($p < 0.05$), (Kuva 7). Luokkien välinen ero aerobisessa kynnyksessä havaittiin tasoryhmien välillä kaikilla viikoilla.

8.1.1. Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen aikaan

Harjoittelulla sekä tasoryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus aerobisen kynnyksen aikaan ($p < 0.05$), kun taas BMI-luokalla päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1, 5 ja 8 aktiiviryhmällä aika oli parempi kuin harrasteryhmällä ($p < 0.01$, $p < 0.05$ ja $p < 0.01$) ja perusryhmällä ($p < 0.05$) (Kuva 22). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin normaaliluokassa, aerobinen kynnys kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.05$) (Kuva 23).



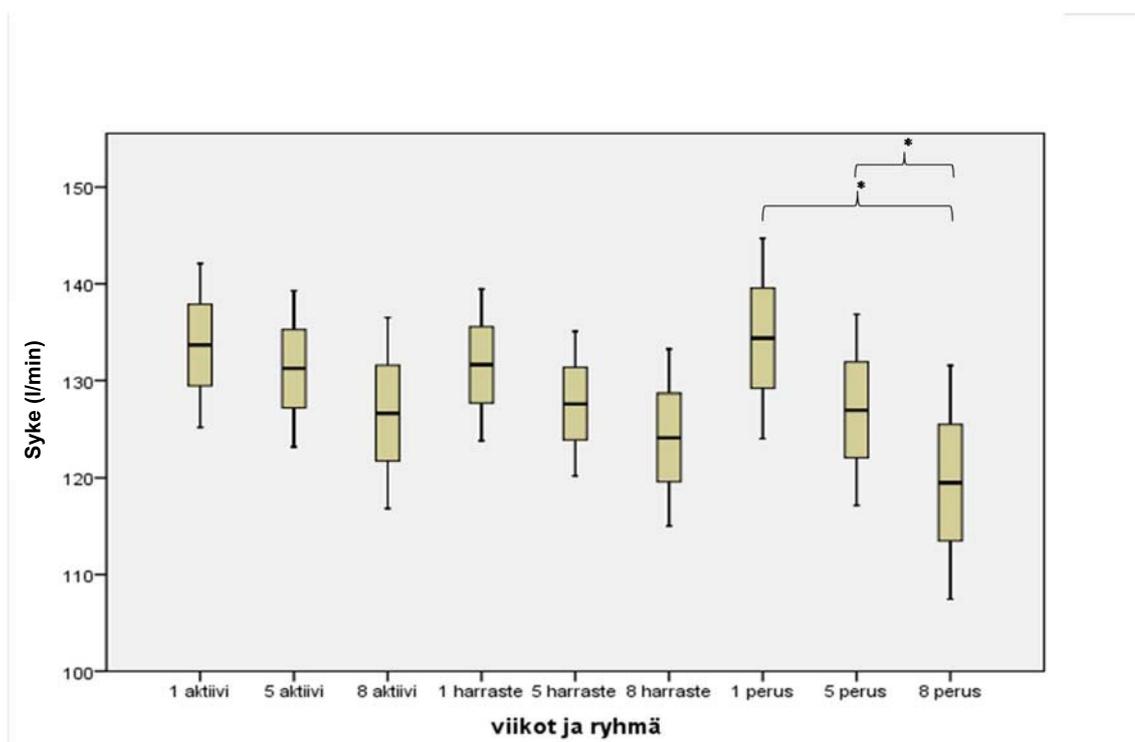
KUVA 22. Ajan muutos aerobisella tasolla eri tasoryhmässä peruskoulutuskaudella (viikko 1. 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



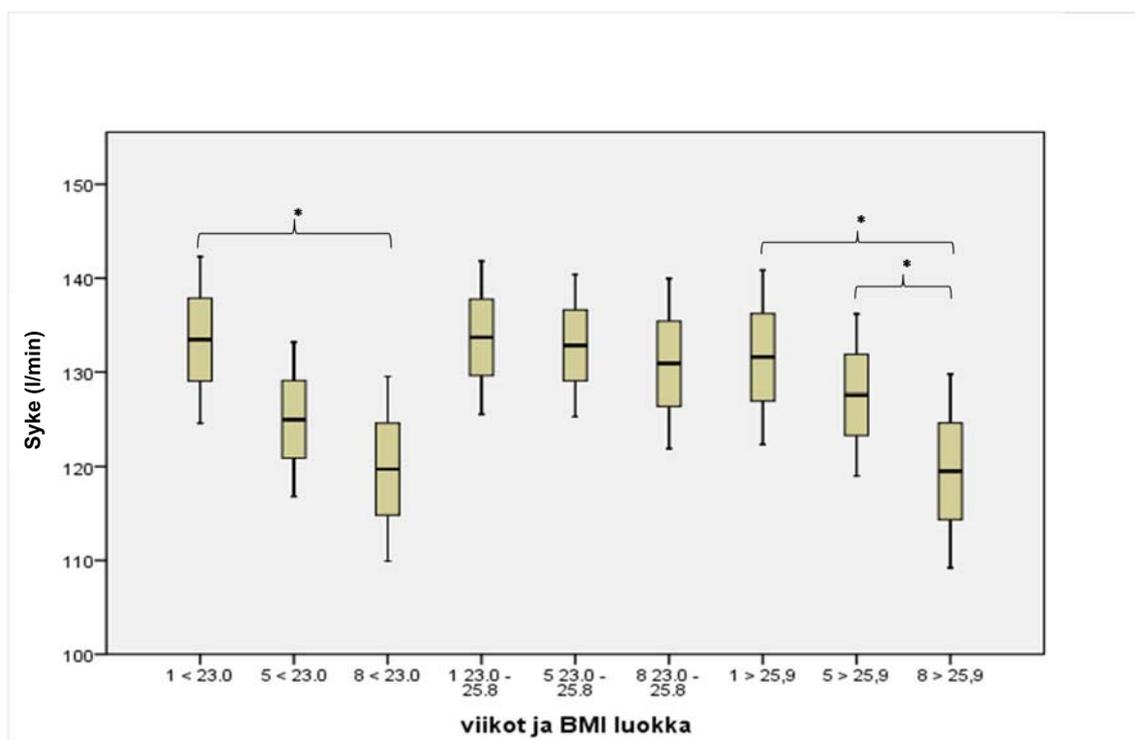
KUVA 23. Ajan muutos aerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1. 5 ja viikko 8). Eroja ryhmien sisällä havaittiin BMI normaaliluokassa, * $p < 0.05$. Eroja matala- normaali- ja korkealuokkien välillä ei havaittu.

8.1.2. Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen sykkeeseen

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä päävaikutus aerobisen kynnyksen sykkeeseen tasoryhmässä ($p < 0.05$) ja BMI -luokalla. Perusryhmällä syke oli alhaisempi viikolla 8 verrattuna viikkoon 1 ja 5 ($p < 0.05$) (Kuva 24). Myös BMI -matala luokalla syke oli alhaisempi viikolla 8 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.05$) ja BMI –korkea luokalla alhaisempi viikolla 8 verrattuna viikkoon 1 ja 5 ($p < 0.05$) (Kuva 25). Eroja luokkien välillä ei havaittu.



KUVA 24. Syke aerobisella tasolla eri tasoryhmällä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmän sisällä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

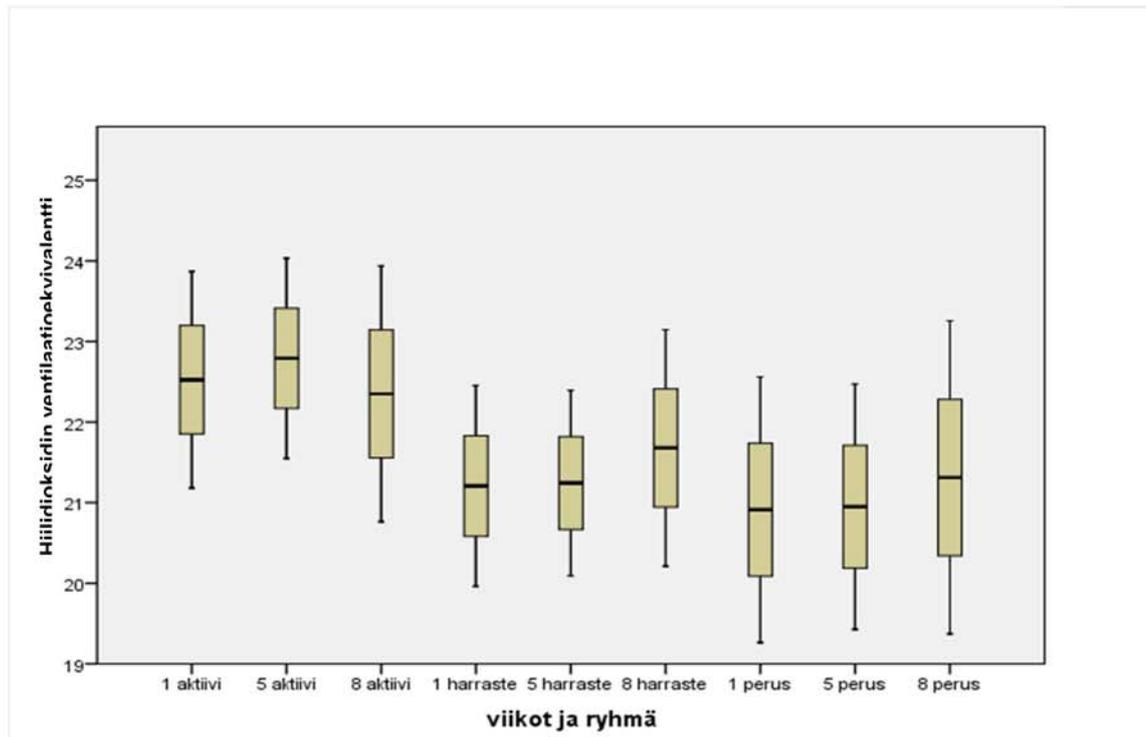


KUVA 25. Syke aerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmän sisällä, * $p < 0.05$.

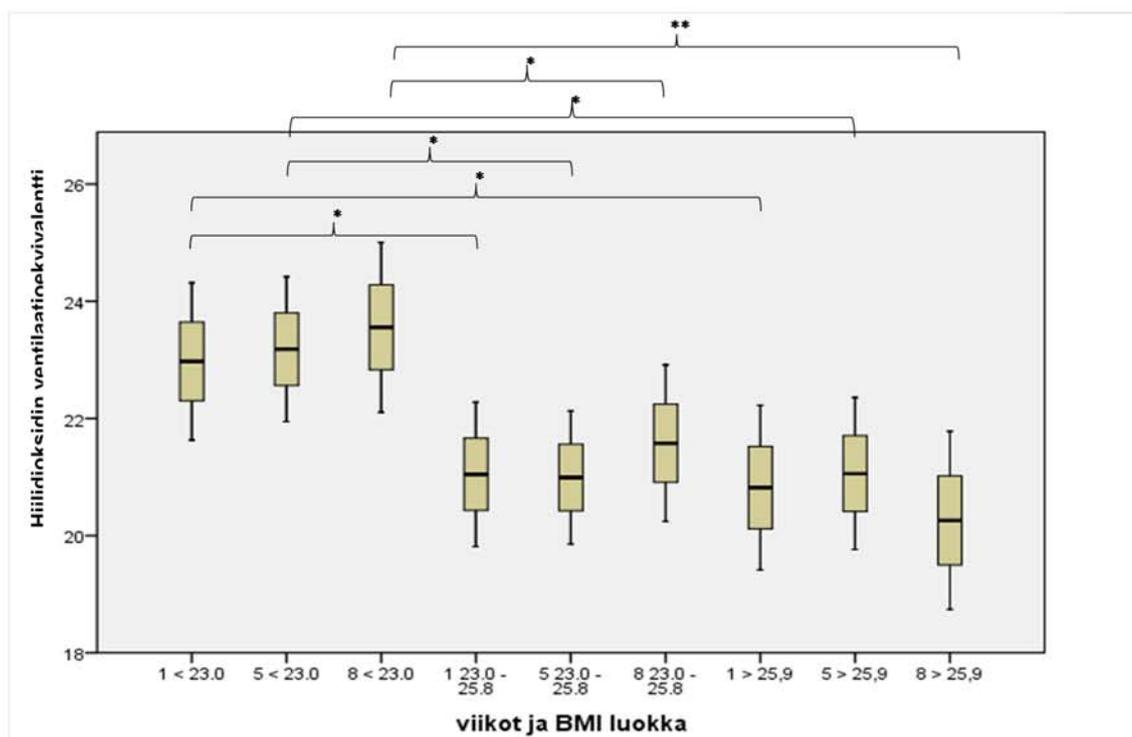
8.1.3. Peruskoulutus jakson vaikutus aerobisen kynnyksen hapen- ja hiilidioksidin ventilaatioekvivalenttiin

Hiilidioksidin ventilaatioekvivalentin absoluuttinen arvo oli tasoryhmillä aktiivi ja matala kaikilla testikerroilla korkeampi verrattuna luokan muihin luokkiin. Tämä ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittävää. Tilastollisesti merkittävä eroja tasoryhmän sisällä ei havaittu. Eroja tasoryhmän välillä ei havaittu. (Kuva 26)

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus aerobisen kynnyksen hiilidioksidin ventilaatioekvivalenttiin BMI-luokalla ($p < 0.05$), kun taas tasoryhmällä päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1, 5 ja 8 hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti oli matala BMI-luokalla korkeampi kuin normaaliluokalla ($p < 0.05$, $p < 0.05$ ja $p < 0.05$) ja korkealuokalla ($p < 0.05$, $p < 0.05$ ja $p < 0.01$) (Kuva 27).



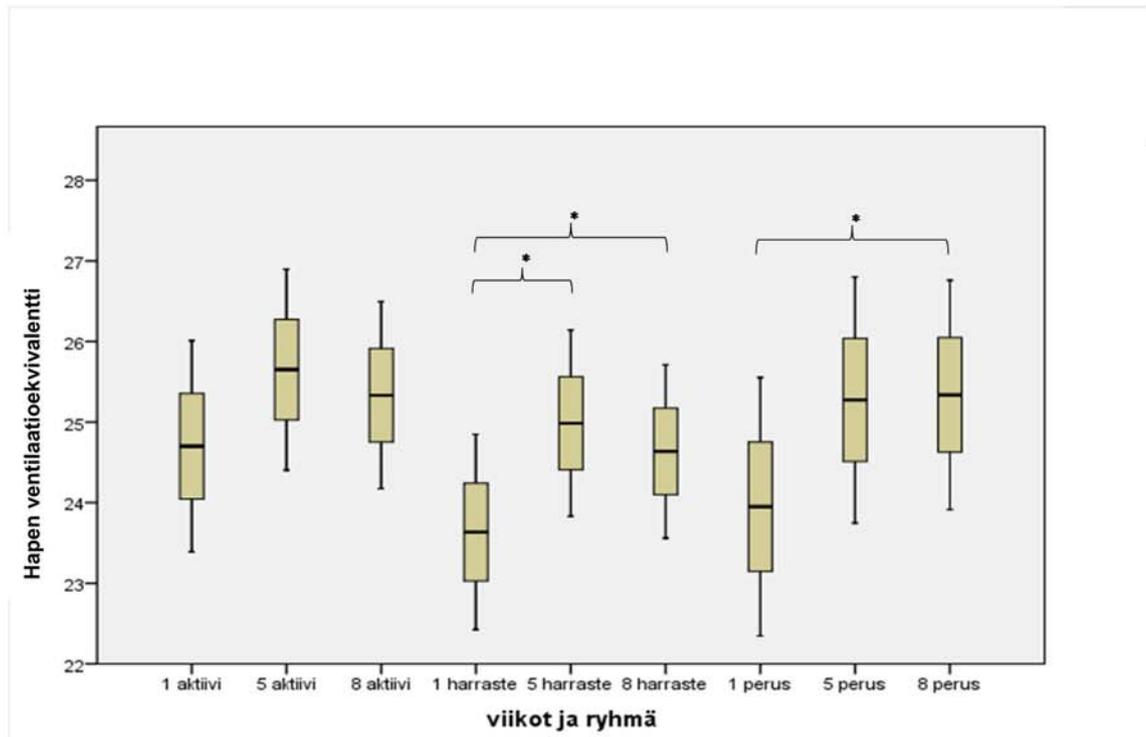
KUVA 26. Hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti aerobisella tasolla eri tasoryhmillä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Eroja ryhmien sisällä ei havaittu. Eroja aktiivi-, harraste- ja perusryhmien välillä ei havaittu.



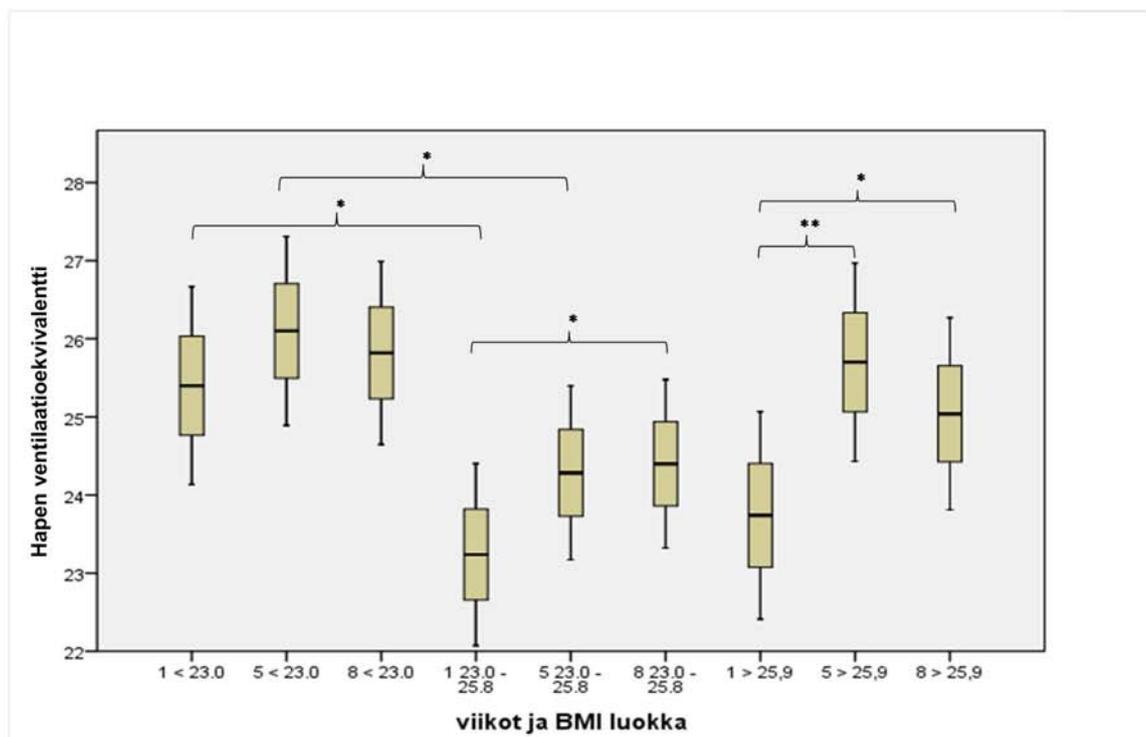
KUVA 27. Hiilidioksidin ventilaatioekvivalentin muutos aerobisella tasolla eri BMI luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Eroja ryhmien sisällä ei havaittu. Ero matala- normaali- ja korkealuokkien välillä, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus aerobisen kynnyksen hapen ventilaatioekvivalenttiin BMI-luokalla ($p < 0.05$), kun taas tasoryhmällä päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1 ja 5 matalaluokalla hapen ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin normaaliluokalla ($p < 0.05$ ja $p < 0.05$) (Kuva 29). Tasoryhmän sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin harrasteryhmässä, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 5 ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.05$) (Kuva 28). Tasoryhmien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin myös perusryhmässä, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 8 ($p < 0.05$) (Kuva 28).

BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin korkealuokassa, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 5 ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.01$ ja $p < 0.05$) (Kuva 29). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin myös normaaliluokassa, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 8 ($p < 0.05$) (Kuva 29).



KUVA 28. Hapen ventilaatioekvivalentti aerobisella tasolla eri tasoryhmillä peruskoulutuskaudella (viikko 1. 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä perus- ja harrasteryhmässä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



KUVA 29. Absoluuttisen hapen ventilaatioekvivalentin muutos aerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1. 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä korkea luokassa, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. Ero matala- normaaliuokkien välillä, * $p < 0.05$.

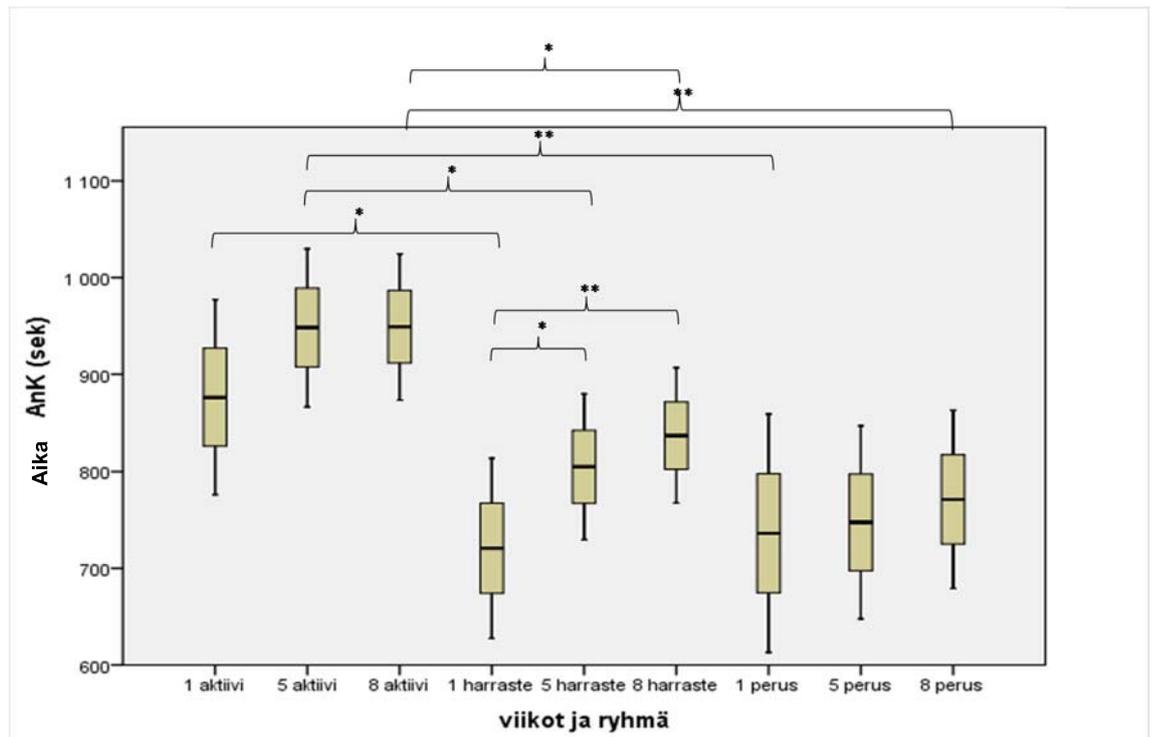
8.2. Peruskoulutus jakson Anaerobinen kynnys (AnK)

Kaikkien kolmen (viikot 1, 5 ja 8) testikerran anaerobinen kynnys saatiin 34 koehenkilöltä. Koehenkilöt oli jaettu tasoryhmiin (aktiivi, harraste ja perus) sekä BMI-luokkiin (matala, normaali ja korkea).

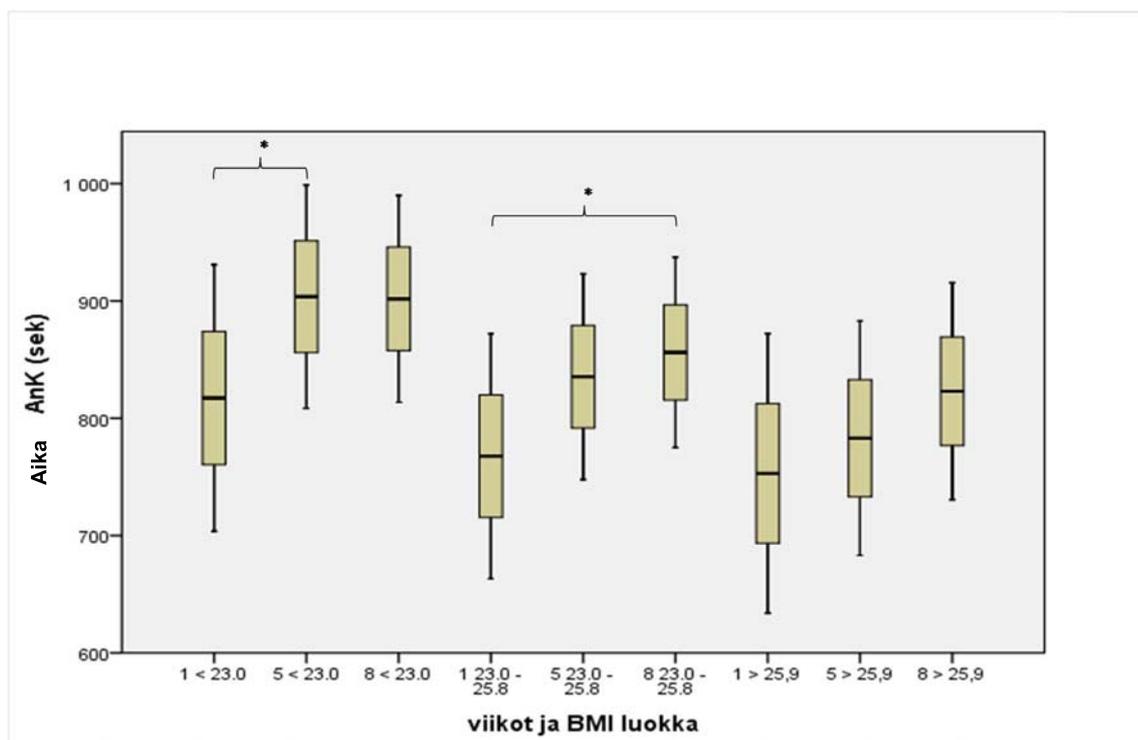
Harjoittelulla sinänsä oli tilastollisesti merkittävä päävaikutus anaerobiseen kynnykseen tasoryhmässä harraste (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$) (Kuva 30), sekä BMI-luokassa matala- ja normaali (* $p < 0.05$) (Kuva 31). Tasoryhmässä harraste aika aerobisella tasolla oli viikoilla 5 ja 8 parempi kuin viikolla 1 (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$). (Kuva 30). Tasoryhmien välinen ero anaerobisessa kynnyksessä havaittiin kaikilla viikoilla (Kuva 31).

8.2.1. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen aikaan

Harjoittelulla sekä tasoryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus anaerobisen kynnyksen aikaan ($p < 0.05$), kun taas BMI-luokalla päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1, 5 ja 8 tasoryhmän aktiivi aika oli parempi kuin harrasteryhmällä ($p < 0.01$, $p < 0.05$ ja $p < 0.01$) ja viikoilla 5 ja 8 tasoryhmän aktiivi aika oli parempi kuin perusryhmällä ($p < 0.01$ ja $p < 0.01$) (Kuva 30). Tasoryhmän sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin harrasteryhmässä, anaerobinen kynnys kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.01$) (Kuva 22). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin matalaluokassa, anaerobinen kynnys kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) sekä normaaliluokassa, anaerobinen kynnys kehittyi viikosta 1 viikkoon 8 ($p < 0.05$) (Kuva 31).



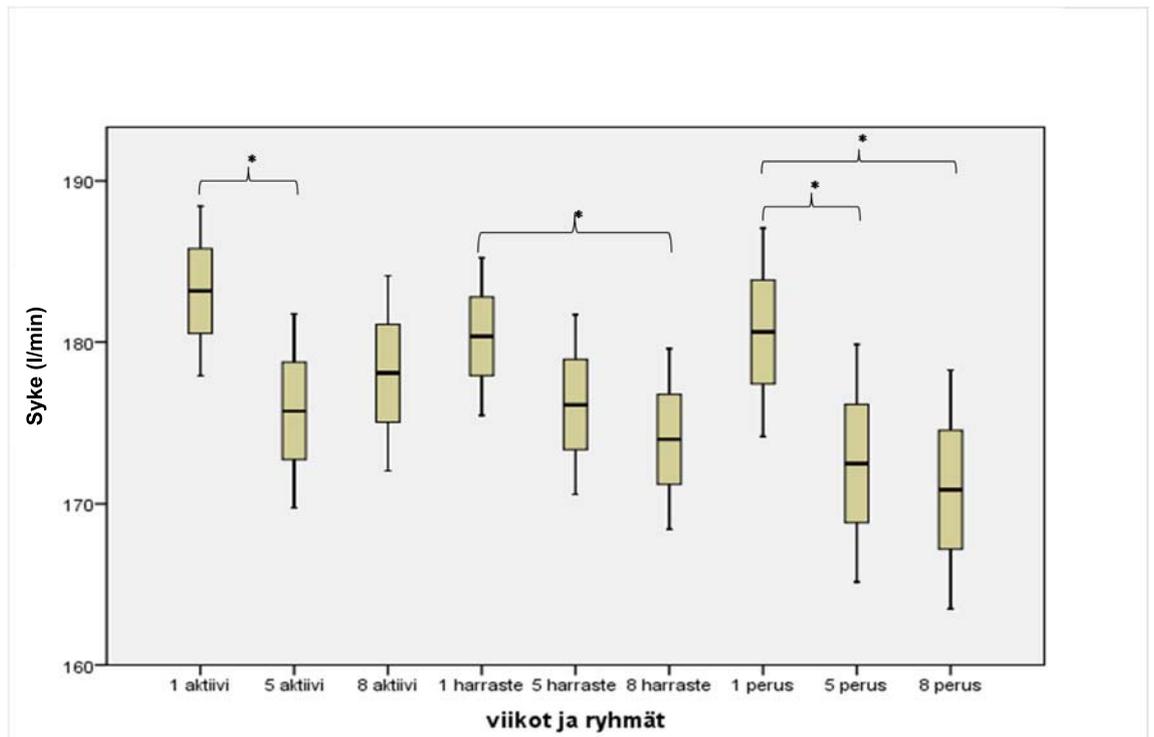
KUVA 30. Ajan muutos anaerobisella tasolla eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä harrasteryhmässä ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



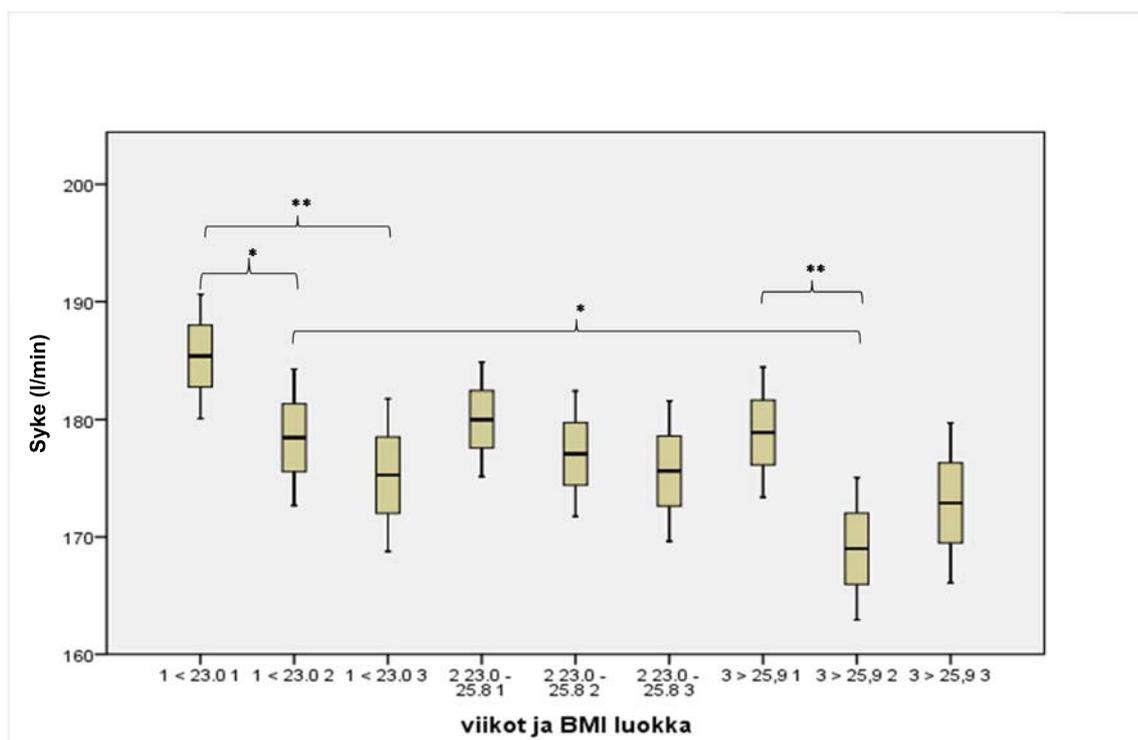
KUVA 31. Ajan muutos anaerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä BMI matala- ja normaali luokassa, * $p < 0.05$.

8.2.2. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen sykkeeseen

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä päävaikutus anaerobisen kynnyksen sykkeeseen tasoryhmällä ($p < 0.05$) ja BMI-luokalla ($p < 0.05$ ja $p < 0.01$). Tasoryhmässä aktiivi syke oli alhaisempi viikolla 5 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.05$) (Kuva 32). Tasoryhmässä harraste syke oli alhaisempi viikolla 8 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.05$) (Kuva 32). Tasoryhmällä perus syke oli alhaisempi viikolla 5 ja 8 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.05$) (Kuva 32). BMI-luokalla matala syke oli alhaisempi viikolla 5 ja 8 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (Kuva 33). Korkealuokalla syke oli alhaisempi viikolla 5 verrattuna viikkoon 1 ($p < 0.01$). Viikolla 5 korkealuokalla syke oli matalampi kuin matalaluokalla ($p < 0.05$) (Kuva 33).



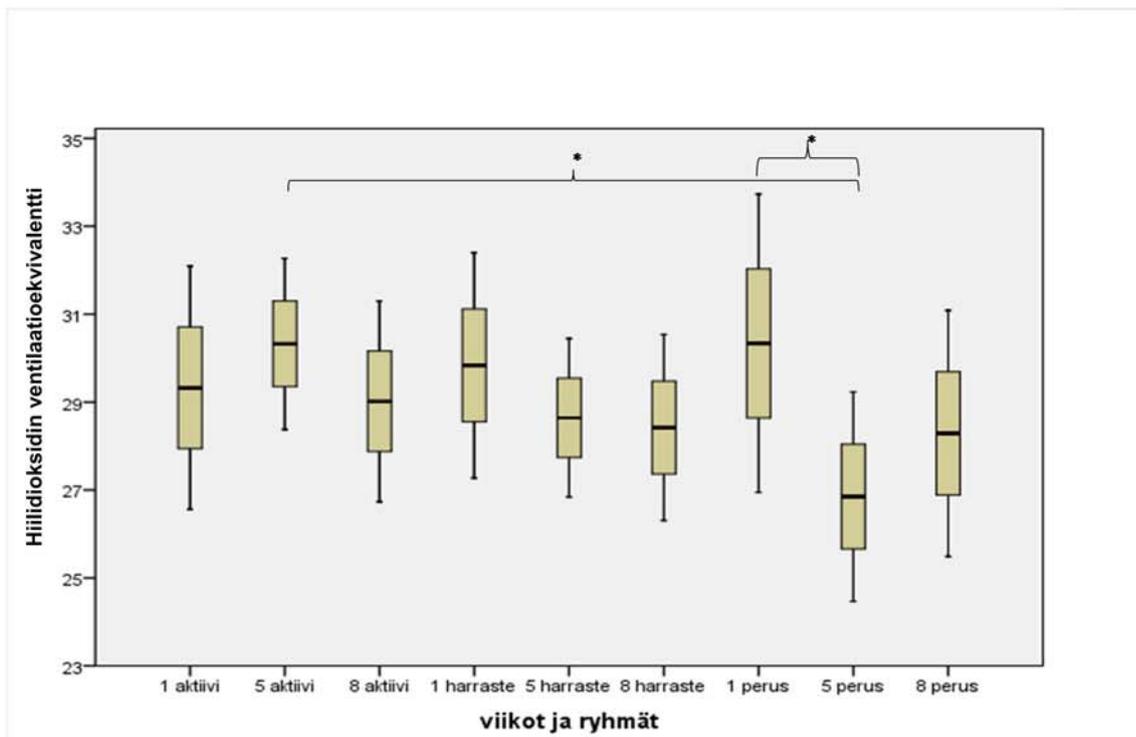
KUVA 32. Syke anaerobisella tasolla eri tasoryhmillä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä aktiivi- perus- ja harrasteryhmällä, * $p < 0.05$.



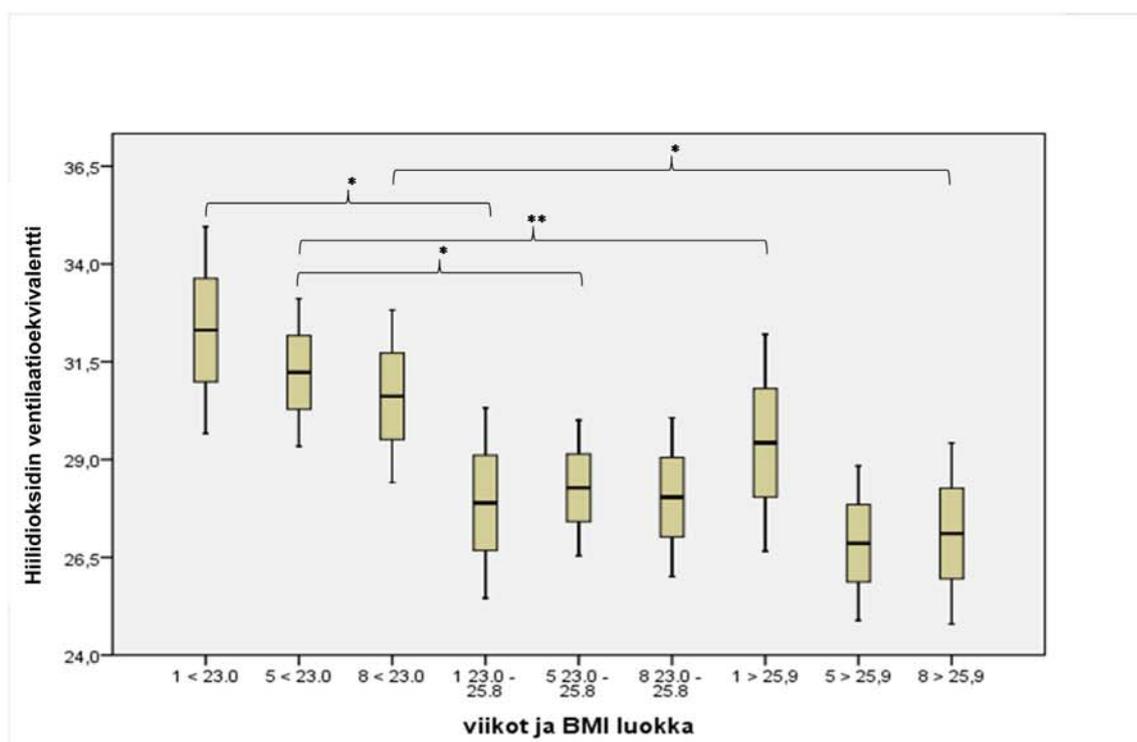
KUVA 33. Absoluuttisen sykkeen muutos anaerobisella tasolla eri BM-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä BMI matala- ja korkea luokassa, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$. Ero matala- normaali- ja korkealuokkien välillä, * $p < 0.05$.

8.2.3. Peruskoulutus jakson vaikutus anaerobisen kynnyksen hiilidioksidin- ja hapen ventilaatioekvivalenttiin

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus anaerobisen kynnyksen hiilidioksidin ventilaatioekvivalenttiin tasoryhmällä sekä BMI-luokalla ($p < 0.05$, $p < 0.01$). Tasoryhmällä aktiivi viikolla 5 hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin perusryhmän ($p < 0.05$) (Kuva 34). BMI-luokan matala viikon 1 ja 5 hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin normaaliluokalla ($p < 0.05$) ja viikoilla 5 ja 8 matalaluokan hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin korkealuokan ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (Kuva 35). Tasoryhmän sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin perusryhmän, anaerobinen kynnyksen kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) (Kuva 34).

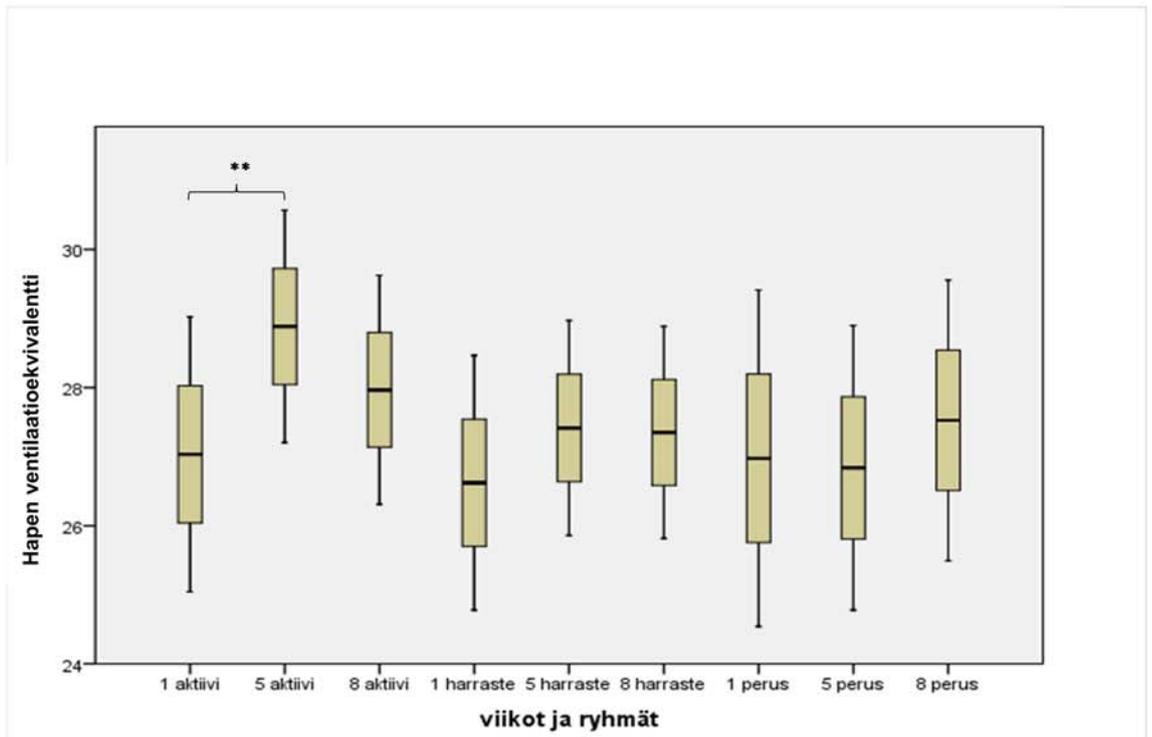


KUVA 34. Hiilidioksidin ventilaatioekvivalentti anaerobisella tasolla eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä perusryhmässä, * $p < 0.05$. Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; * $p < 0.05$.

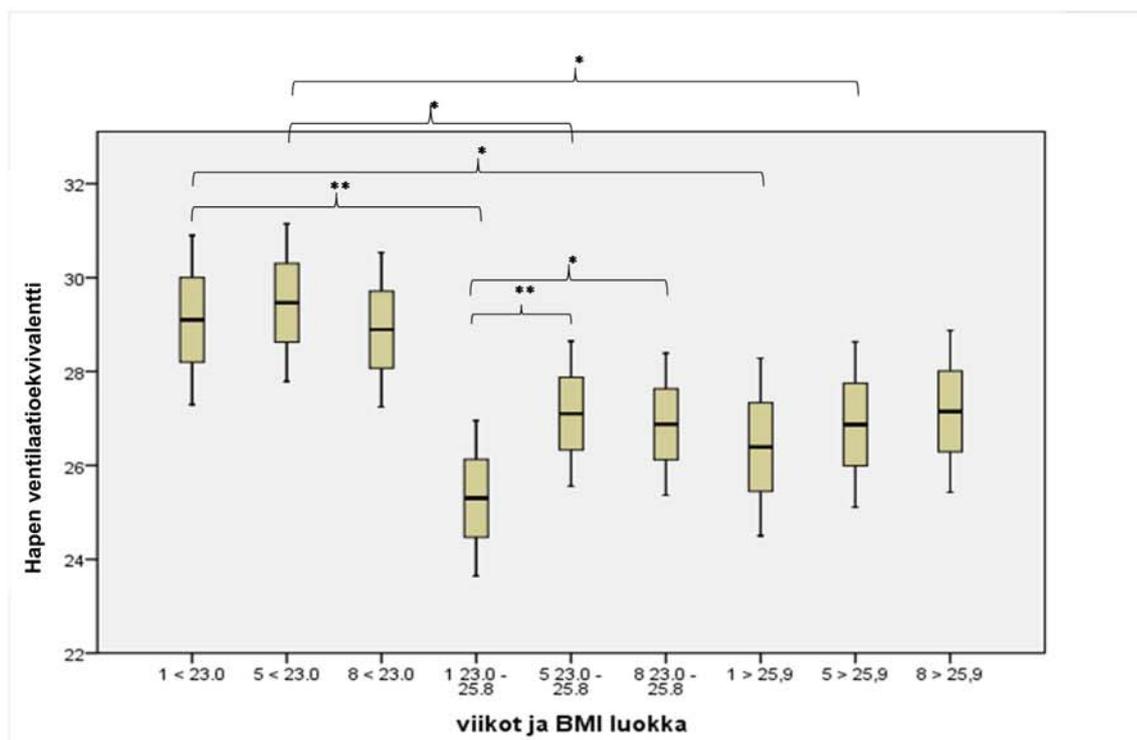


KUVA 35. Hiilidioksidin ventilaatioekvivalentin muutos anaerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero matala- normaali- ja korkealuokkien välillä matala- ja normaali- ja korkea luokkien välillä, ** $p < 0.05$, * $p < 0.05$.

Harjoittelulla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus anaerobisen kynnyn hapen ventilaatioekvivalenttiin BMI-luokalla ($p < 0.05$, $p < 0.01$), kun taas tasoryhmällä päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1 ja 5 BMI-luokan matala hapen ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin normaaliluokalla ($p < 0.01$ ja $p < 0.05$) (Kuva 37). Viikoilla 1 ja 5 matalaluokalla hapen ventilaatioekvivalentti oli korkeampi kuin korkealuokalla ($p < 0.05$, $p < 0.05$) (Kuva 37). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin normaaliluokassa, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.01$) ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.05$) (Kuva 37). Tasoryhmien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin aktiiviryhmässä, hapen ventilaatioekvivalentti nousi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) (Kuva 36).



KUVA 36. Hapen ventilaatioekvivalentti anaerobisella tasolla eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä aktiiviryhmässä, ** $p < 0.01$.



KUVA 37. Hapen ventilaatioekvivalentin absoluuttinen muutos anaerobisella tasolla eri BMI-luokilla peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero ryhmien sisällä normaali luokassa, ** $p < 0.05$, * $p < 0.05$. Ero matala- normaali- ja korkealuokkien välillä, ** $p < 0.05$, * $p < 0.05$.

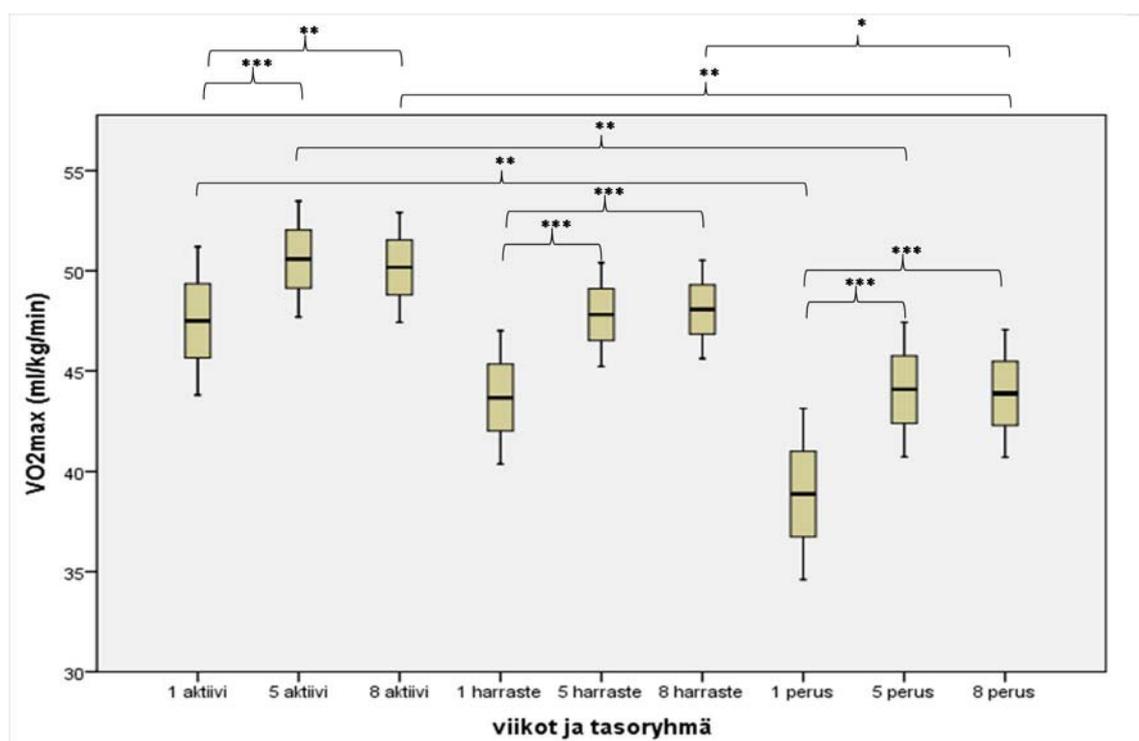
8.3. Peruskoulutuskauden vaikutus hapenottoon

Kaikkien kolmen (viikot 1, 5 ja 8) testikerran tuloksista määritettiin maksimaalinen hapenotto sekä hapenotto aerobisella- ja anaerobisella kynnyksellä 34 koehenkilöltä. Koehenkilöt oli jaettu tasoryhmiin (aktiivi, harraste ja perus) sekä BMI-luokkiin (matala, normaali ja korkea).

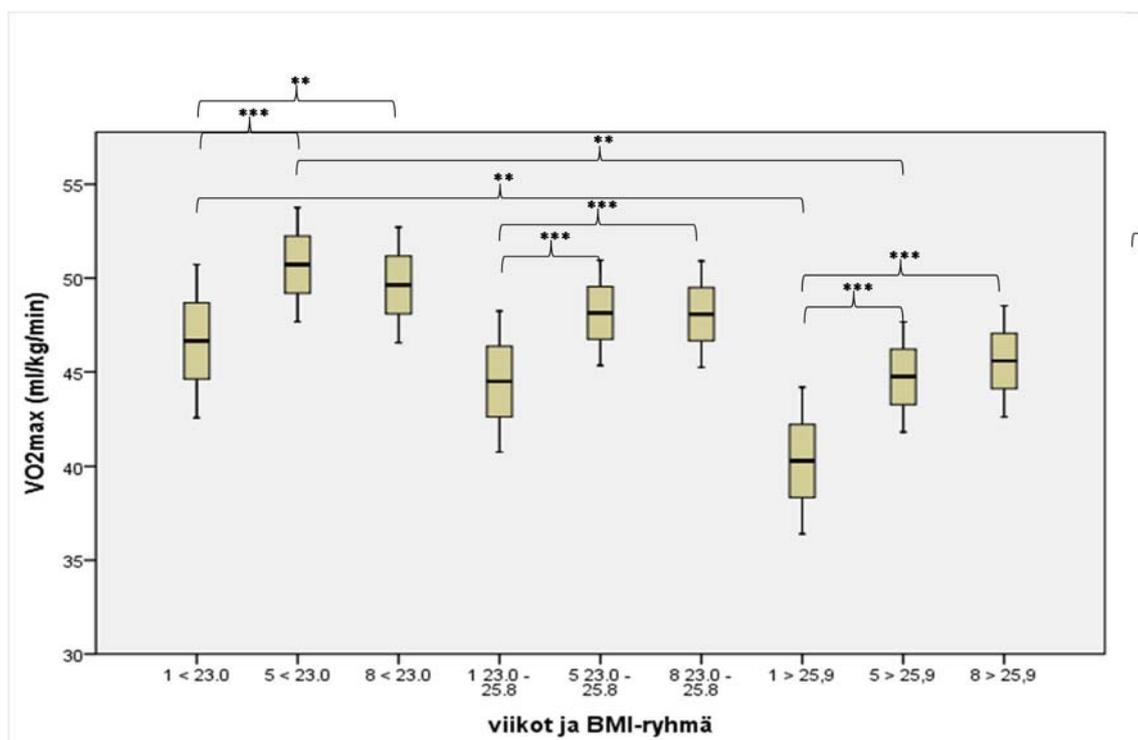
Harjoittelulla sinänsä oli tilastollisesti merkittävä päävaikutus maksimaaliseen hapenottoon tasoryhmässä ja BMI-luokassa sekä hapenottoon aerobisella- ja anaerobisella kynnyksellä tasoryhmässä ja BMI-luokassa ($p < 0.001$, $p < 0.001$ ja $p < 0.05$) (Kuva 44, Kuva 48).

8.3.1. Peruskoulutuskauden vaikutus maksimaaliseen hapenottoon

Harjoittelulla sekä tasoryhmällä ja BMI-luokalla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus maksimaaliseen hapenottoon ($p < 0.001$). Viikoilla 1, 5 ja 8 tasoryhmän aktiivi maksimaalinen hapenotto oli parempi kuin harrasteryhmällä ($p < 0.001$, $p < 0.05$ ja $p < 0.01$) (Kuva 38). Tasoryhmien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin kaikissa ryhmissä, maksimaalinen hapenotto kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.001$) ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.001$, $0 < 0.01$) (Kuva 38). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin kaikissa luokissa, maksimaalinen hapenotto kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.001$) ja pysyi vielä viikolla 8 viikkoa 1 korkeammalla ($p < 0.001$, $0 < 0.01$) (Kuva 39).



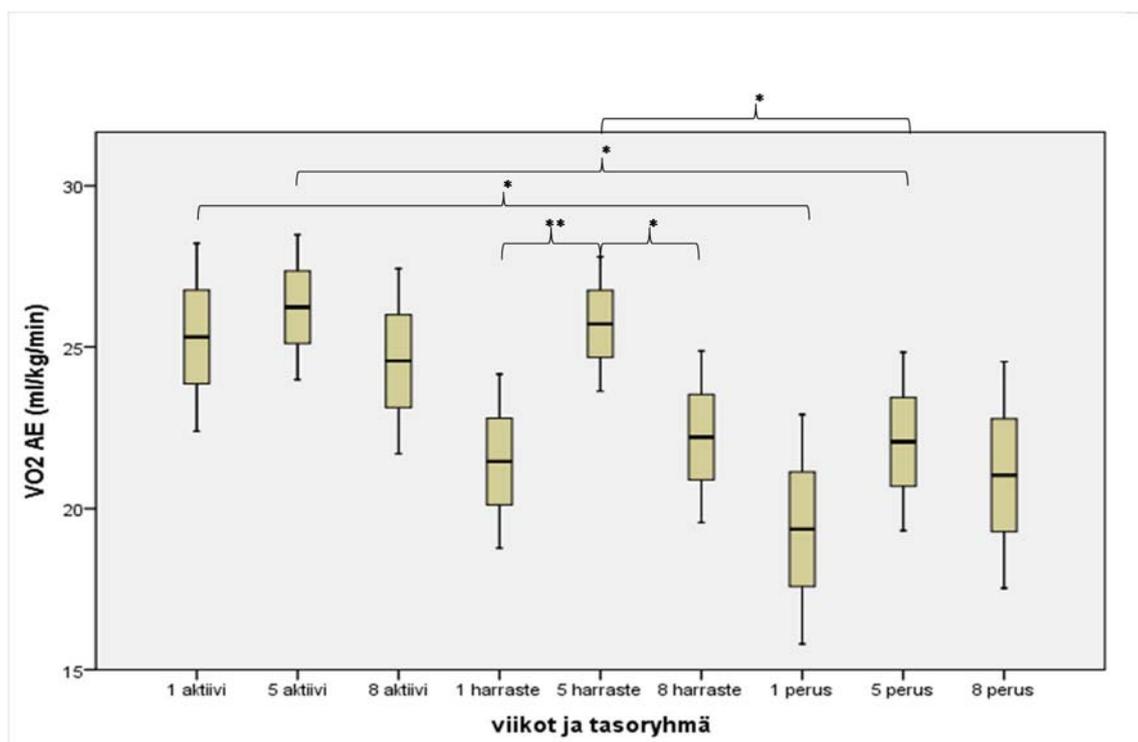
KUVA 38. Maksimaalinen hapenotto eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



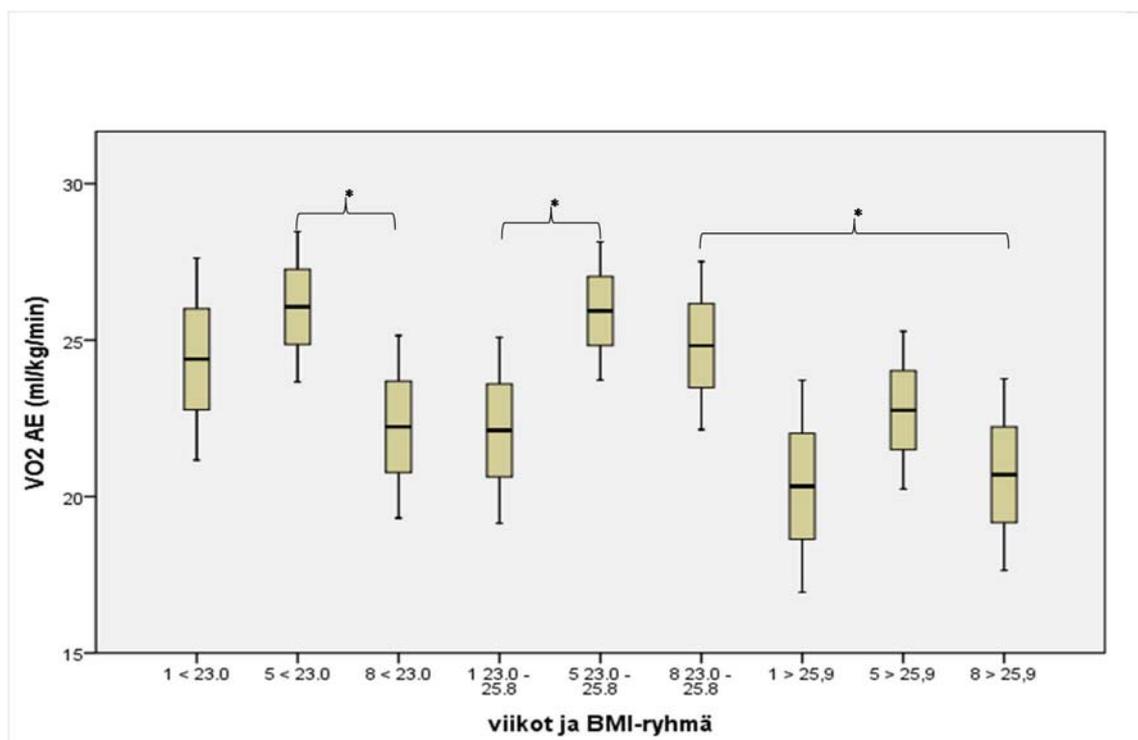
KUVA 39. Maksimaalinen hapenotto eri BMI-luokissa peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

8.3.2. Peruskoulutuskauden vaikutus aerobisen kynnyksen hapenottoon

Harjoittelulla sekä tasoryhmällä havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus aerobisen kynnyksen hapenottoon ($p < 0.05$), kun taas BMI-luokassa päävaikutusta ei havaittu. Viikoilla 1 ja 5 tasoryhmän aktiivi aerobisen kynnyksen hapenotto oli parempi kuin harrasteryhmällä ($p < 0.05$) sekä viikolla 5 harrasteryhmällä aerobisen kynnyksen hapenotto oli parempi kuin perusryhmällä (Kuva 40). Tasoryhmien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin harrasteryhmässä, aerobisen kynnyksen hapenotto kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$) ja laski viikosta 5 viikkoon 8 ($p < 0.05$) (Kuva 40). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin matala- ja normaali luokissa, aerobisen kynnyksen hapenotto lasku viikosta 5 viikkoon 8 ($p < 0.05$) matalaluokassa, normaaliluokassa aerobisen hapenotto kehittyi viikosta 5 viikkoon 8 ($p < 0.05$) (Kuva 41).



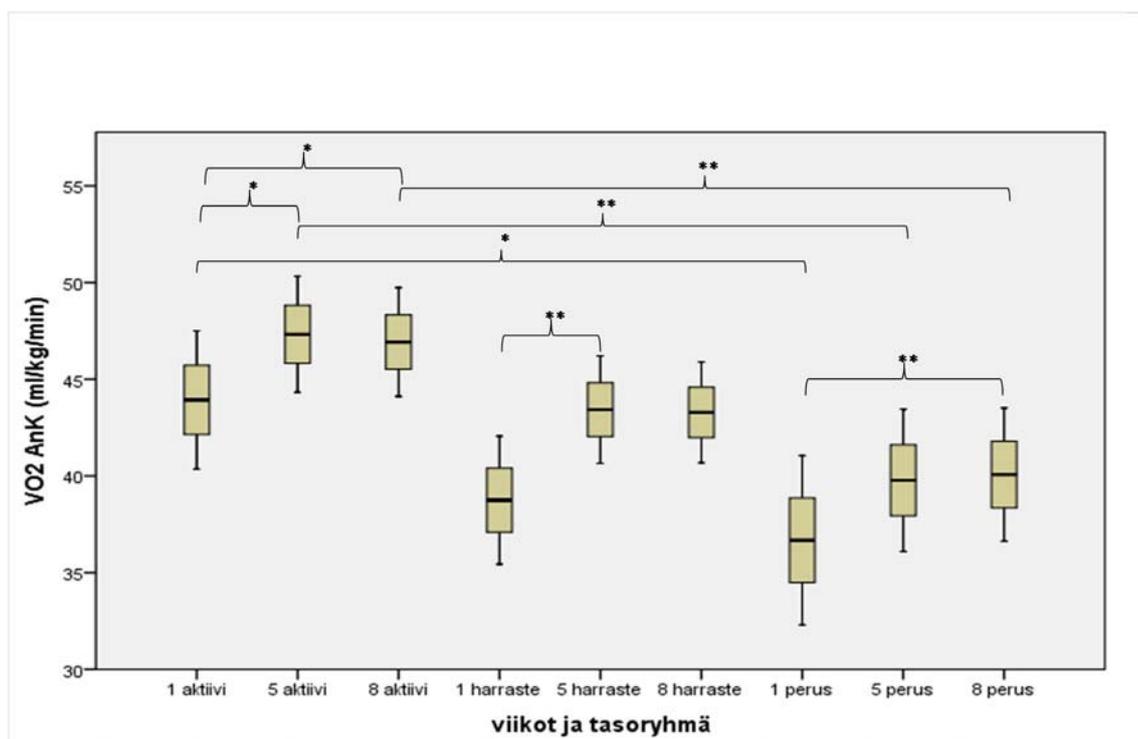
KUVA 40. Hapenotto aerobisella kynnyksellä eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



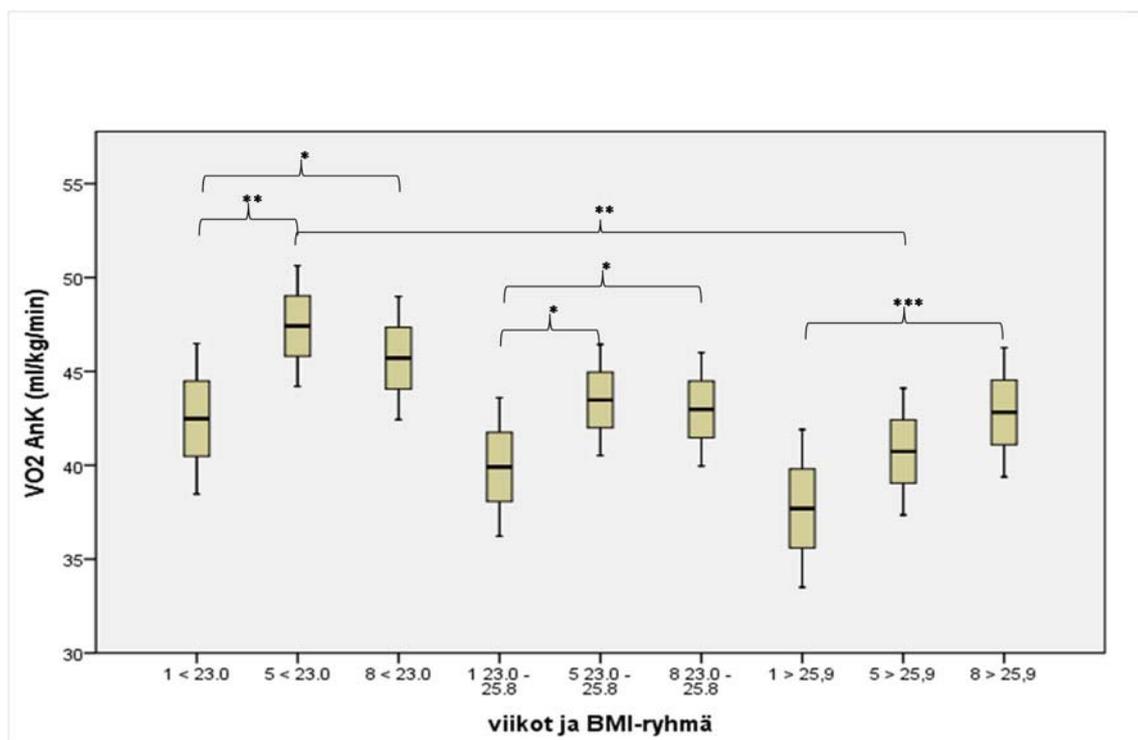
KUVA 41. Hapenotto aerobisella kynnyksellä eri BMI-luokissa peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

8.3.3. Peruskoulutuskauden vaikutus anaerobisen kynnyksen hapenottoon

Harjoittelulla sekä tasoryhmällä ja BMI-luokalla havaittiin tilastollisesti merkitsevä itsenäinen päävaikutus anaerobisen kynnyksen hapenottoon ($p < 0.01$, $p < 0.05$). Viikoilla 1, 5 ja 8 tasoryhmän aktiivi anaerobisen kynnyksen hapenotto oli parempi kuin perusr ryhmällä ($p < 0.01$, $p < 0.05$) (Kuva 42). Viikoilla 5 BMI-luokan matala anaerobisen kynnyksen hapenotto oli parempi kuin korkealuokalla ($p < 0.01$, $p < 0.05$) (Kuva 49). Tasoryhmien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin kaikissa luokissa, anaerobisen kynnyksen hapenotto kehittyi aktiiviryhmässä sekä ryhmässä viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$, $p < 0.01$) ja pysyi vielä viikkoa 1 korkeammalla viikolla 8 aktiivi- ja perusr ryhmässä ($p < 0.01$, $p < 0.05$) (Kuva 42). BMI-luokkien sisällä tilastollisesti merkitsevä muutos havaittiin matala- ja normaaliluokissa, anaerobisen kynnyksen hapenotto kehittyi viikosta 1 viikkoon 5 ($p < 0.05$). Kaikissa luokissa anaerobisen hapenotto pysyi viikkoa 1 korkeammalla viikolla 8 ($p < 0.001$, $p < 0.05$) (Kuva 43).



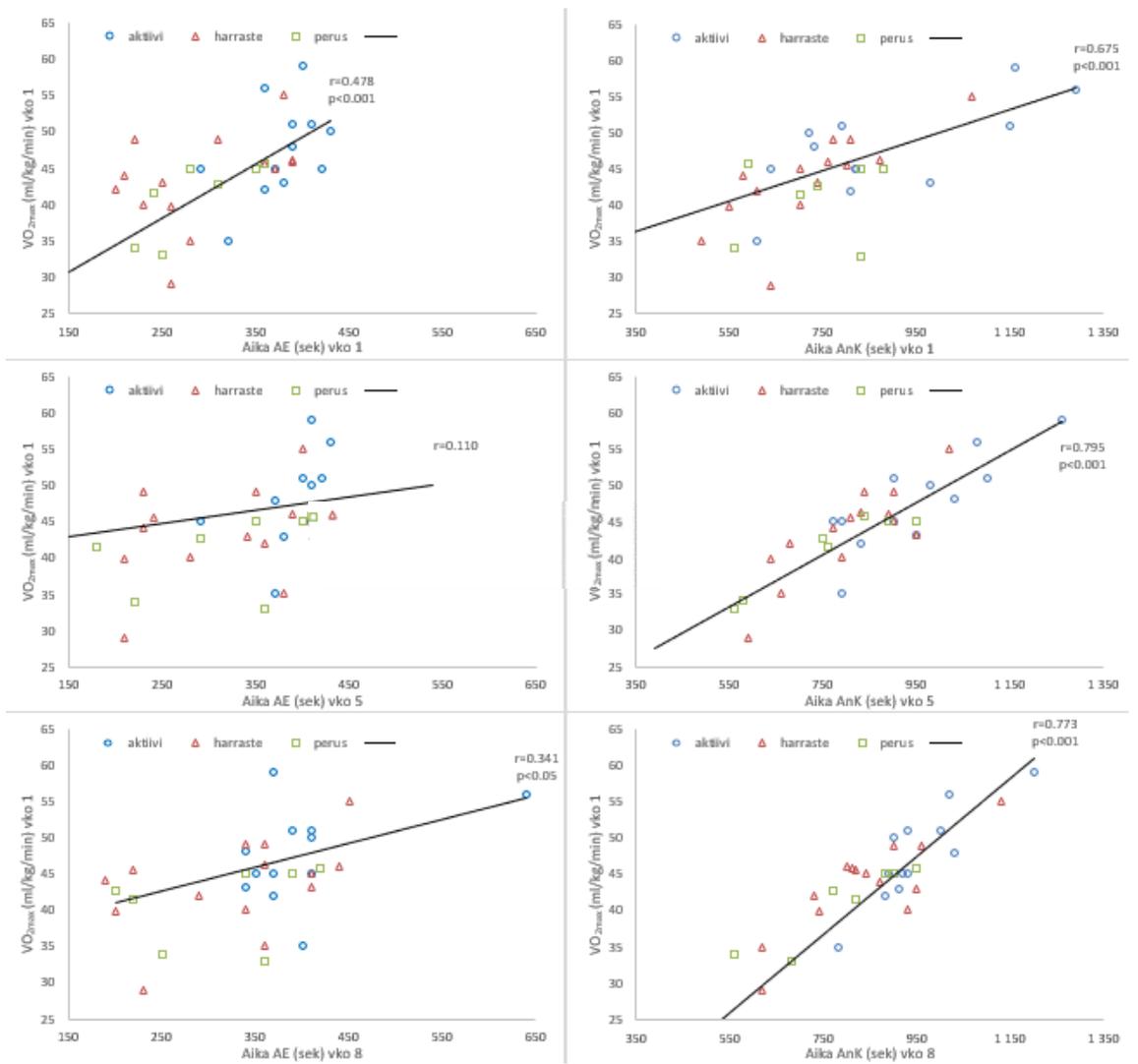
KUVA 42. Hapenotto anaerobisella kynnyksellä eri tasoryhmissä peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusr ryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.



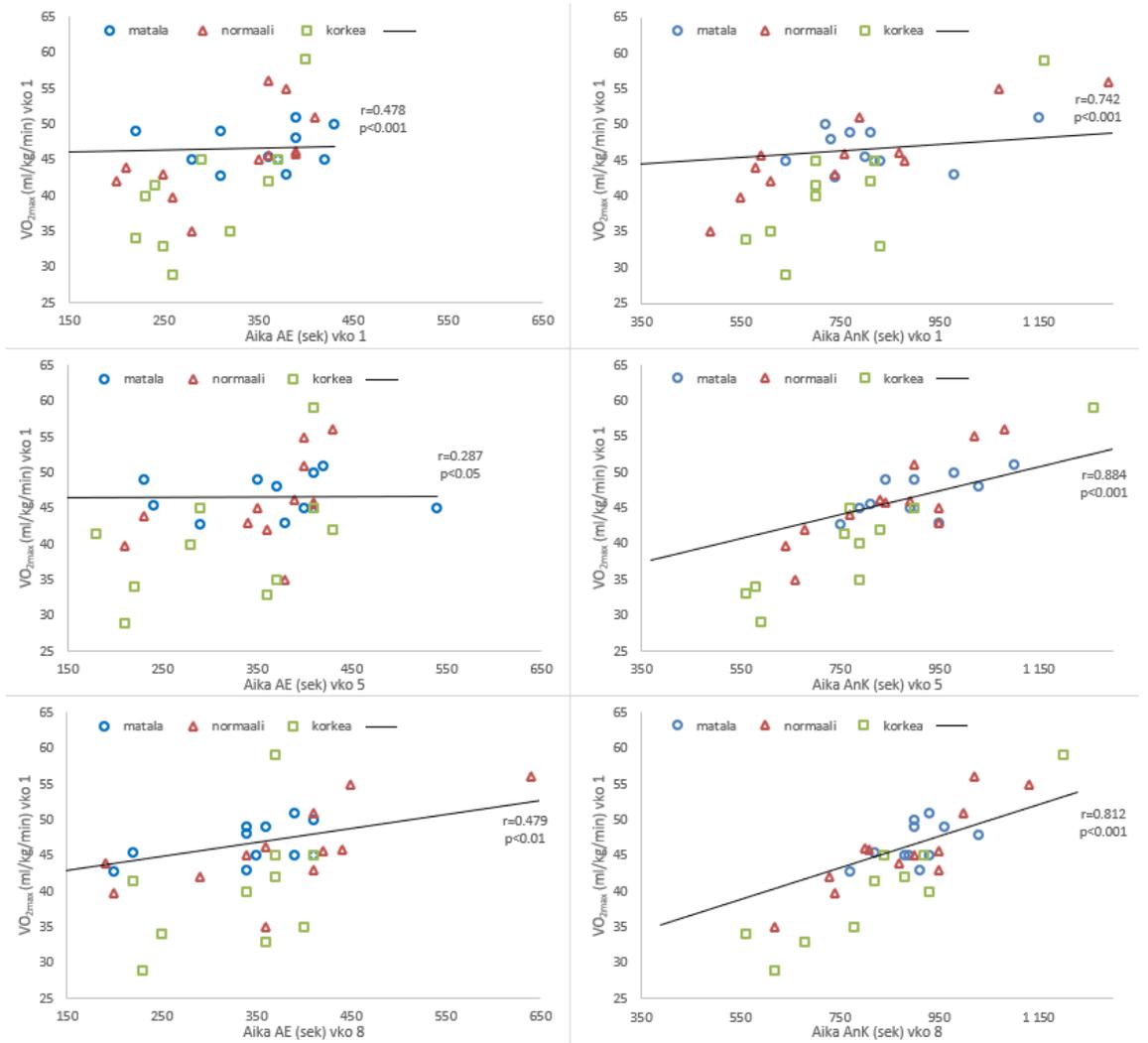
KUVA 43. Hapenotto anaerobisella kynnyksellä eri BMI-luokissa peruskoulutuskaudella (viikko 1, 5 ja viikko 8). Ero aktiivi- harraste- ja perusryhmien välillä; ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

8.4. *VO₂max:n yhteys aerobisen- ja anaerobisen kynnyksen aikaan ja hapenottoon, korrelaatiot*

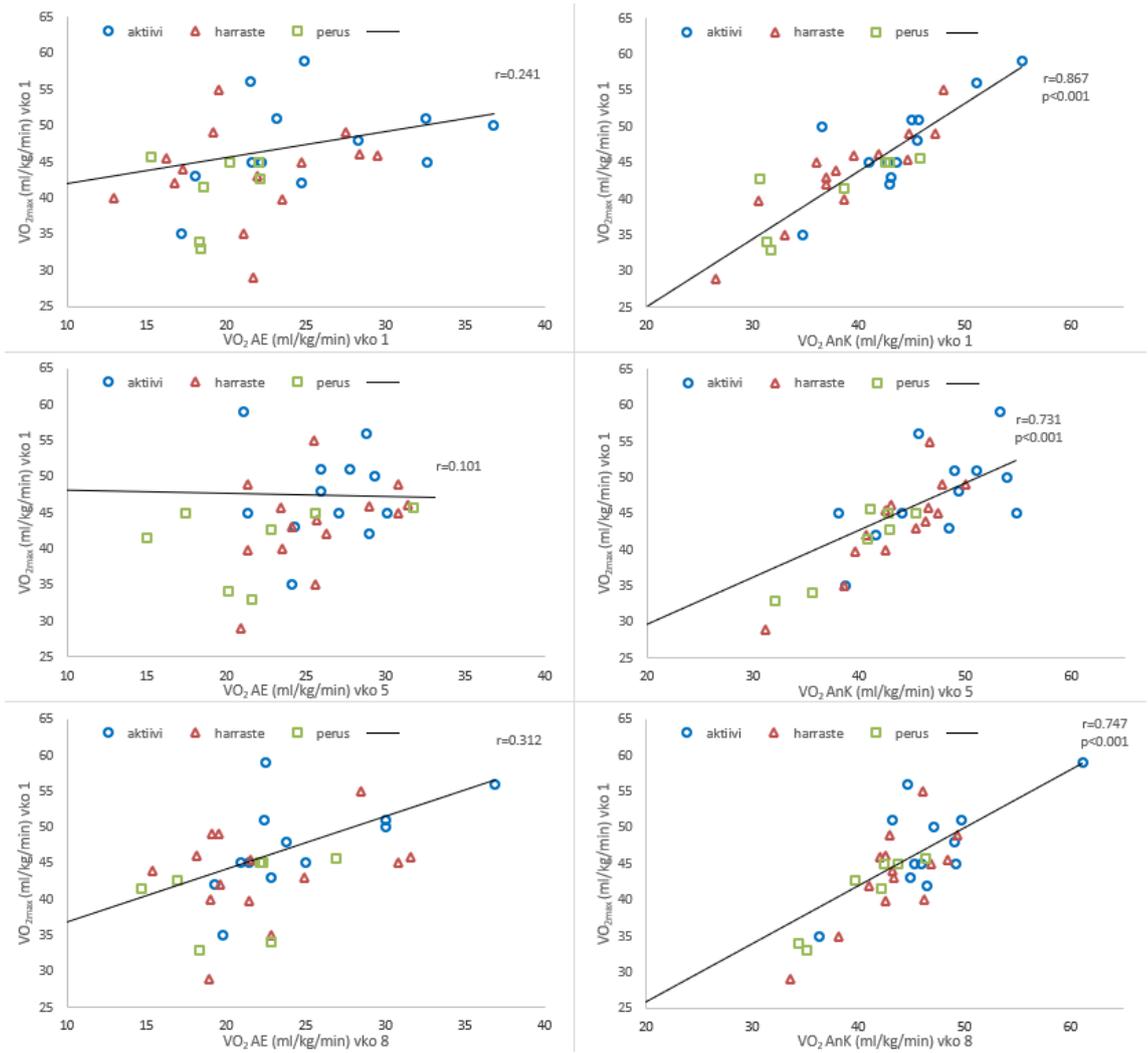
Maksimaalisen hapenottokyvyn vaikutusta aerobisen- ja anaerobisen kynnyksen aikaan ja hapenottoon ja näiden välistä korrelaatiota tarkasteltiin käyttämällä tasoryhmän ja BMI-luokan määrittelyyn kullakin testiviikolla suoritettua juoksumattotestin VO₂max-arvoa (ml/kg/min). Erittäin merkitsevä positiivinen yhteys havaittiin aerobisen- ja anaerobisen kynnyksen aikaan viikolla 1 kummallakin ryhmällä ($p < 0.001$) (Kuva 44 ja 45). Viikoilla 5 ja 8 erittäin merkitsevä positiivinen yhteys anaerobisen kynnyksen aikaan havaittiin kummallakin ryhmällä ($p < 0.001$) (Kuva 44 ja 45). Erittäin merkitsevä positiivinen yhteys anaerobisen kynnyksen hapenottoon havaittiin kummallakin ryhmällä viikoilla 1, 5 ja 8 ($p < 0.001$) (Kuva 46 ja 47). Aerobisella kynnyksellä tilastollista merkittävyyttä havaittiin BMI-luokassa hapenotossa viikolla 1 ja 8 ($p < 0.05$) (Kuva 47).



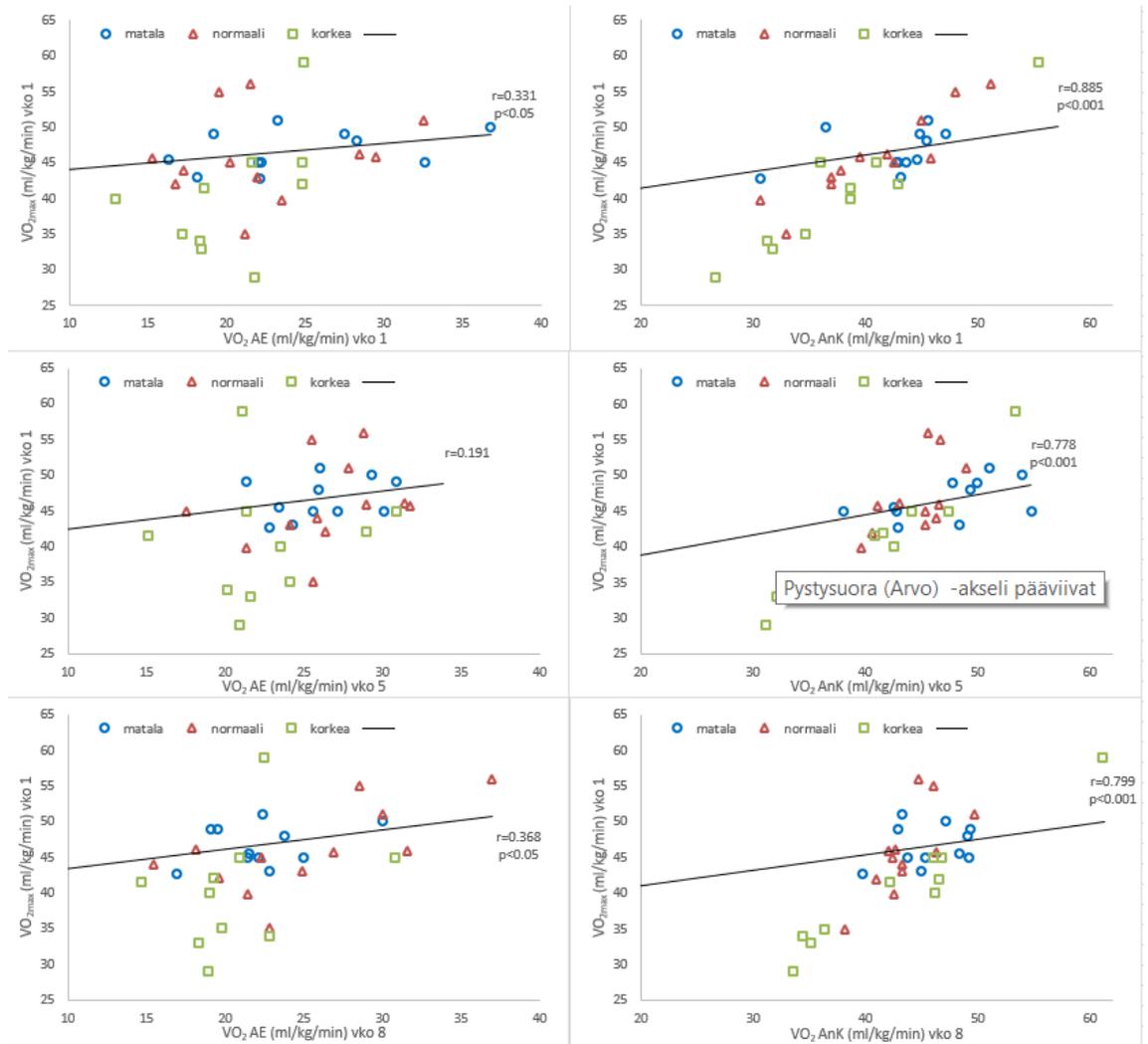
KUVA 44. Tasoryhmän viikon yksi VO_{2max} :n ja juoksumattotestin aerobisen- ja anaerobisen kynnyksien aikojen korrelaatiot.



KUVA 45. BMI-luokan viikon yksi VO_{2max} :n ja juoksumattotestin aerobisen- ja anaerobisen kynnyksien aikojen korrelaatiot.



KUVA 46. Tasoryhmän viikon yksi VO_{2max} :n ja juoksumattotestin aerobisen- ja anaerobisen kynnyksien hapenoton korrelaatiot.



KUVA 47. BMI-luokan viikon yksi VO_{2max}:n ja juoksumattotestin aerobisen- ja anaerobisen kynnyksien hapenoton korrelaatiot.

9. POHDINTA

Tutkimuksen mukaan fyysinen kunto parani tutkittaessa aerobista ja anaerobista kynnyksiä eri viikkojen ajalta eri luokilla peruskoulutuskaudella. Tämä tutkimus osoittaa, että kahdeksan viikon harjoittelu riittää nostamaan aerobista ja anaerobista kynnystä. Päätelmiä voidaan verrata aikaisempiin tuloksiin ja tutkimuksiin, joissa on tutkittu kestävyysliikunnan hengitys- ja verenkiertoelimistön mukautumismekanismeja (McArdle ym. 2007 460-465).

Yleisesti voidaan sanoa, että aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseen on monta keinoa. Tärkeimpiä tekijöitä kestävyysuoritukseen ja $VO_2\max$ ovat hengityselimistön ja sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta. Ehkä tärkeimpänä on sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta ja sen harjoittaminen. Keuhkojen ja lihaksen hapen diffuusio on ratkaiseva $VO_2\max$ vaikuttava tekijä. Hengityskaasujen, sykkeen ja veren laktaatin avulla pyritään määrittelemään $VO_2\max$ sekä aerobinen ja anaerobinen kynnyks. Tutkimuksissa on osoitettu, että paras kestävyysuoritukseen vaikuttava tekijä on AnK. AnK kuvastaa parhaiten kilpailusuoritusta kestävyyslajeissa ja korreloi maratonin tai 10km juoksun vauhtia ja aikaa.

Tämä tutkimus myös osoittaa, että jopa neljän viikon harjoittelu nostaa kynnyksiä ja elimistö adaptoituu harjoitteluvasteeseen. Tämä tutkimus selkeästi osoittaa, että tasoryhmiin jako on hyvä menetelmä, kun halutaan tarkastella luokkien välisiä eroja aerobisessa ja anaerobisessa kynnyksessä tai suorituskyvyssä. BMI-luokkiin jakaminen ei osoittanut niin selkeästi eroja luokan sisällä aerobiseen ja anaerobiseen kynnykseen ja suorituskykyyn. Merkittävin löydös oli tasoryhmässä se, että ryhmien välinen ero oli selkeintä heillä. Aktiiviryhmän ero muihin ryhmiin oli tilastollisesti merkittävää niin aerobisella kuin anaerobisella kynnykselläkin. Ryhmän sisällä testien väliset erot olivat tilastollisesti merkittävimmät tasoryhmiin jaetuilla varusmiehillä harraste- ja perusryhmällä. Tilastollisesti merkittävimmät löydökset työssä olivat aerobisen ajan muutokset, sykkeen muutokset ja hapen ventilaatioekvivalentin muutokset niin aerobisella kynnyksellä kuin anaerobisella kynnyksellä. Muuttujien ja aerobisen kuntotason ($VO_2\max$) välinen yhteys oli tilastollisesti erittäin merkitsevä anaerobisella kynnyksellä.

9.1. Kynnykset

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että säännöllinen kestävyysharjoittelun vaikutukset kohdistuvat monipuolisesti koko elimistön toimintaan. Tutkimuksissa on havaittu mekanismeja, jotka vaikuttavat hengitys- ja verenkiertoelimistöön. Kestävyysharjoittelu pienentää leposykettä ja sykettä samalla submaksimaalisella rasituksella. Parantunut suorituskky aerobicisella tasolla sekä anaerobisella tasolla selittyy autonomisen hermoston tehostumisella ja iskutilavuuden kasvulla. Nopeimmin kehittyy liikkumisen taloudellisuus, joka on suoraan verrannollinen suorituskkyyn submaksimaalisella rasituksella. Taloudellinen suoritus ja liikkuminen sekä mekaaninen hyötysuhde kehittyy hermolihäsjärjestelmää kuormittamalla. (Kyröläinen ym. 2001, Mero ym. 2016). Selkeää tutkittua näyttöä ei ole mikä selittää taloudellisuutta juoksussa, mutta on viitteitä siitä, että hermolihäsjärjestelmän elastisuudella voisi selittää juoksemisen taloudellisuutta.

9.2. Syke

Useissa tutkimuksissa kirjallisuudessa on tutkittu sykkeen muutoksia harjoittelun seurauksena. Kestävyysharjoittelu pienentää leposykettä ja sykettä samalla submaksimaalisella rasituksella. Kestävyysharjoittelun vaikutuksena suurentuvat plasmavolyymit ja veren punasolujen määrä. Nämä yhdessä lisäävät veren kokonaistilavuutta ja siten laskimopaluun määrää. Kestävyysharjoittelun iskutilavuuden kasvu on suurin yksittäinen tekijä, joka edelleen vaikuttaa sydämen iskutilavuuteen, hapenkuljetuskkyyn ja maksimaalisen hapenkuljetuskkyyn. Iskutilavuuden kasvu saavuttaa maksiminsa harjoittelemattomilla henkilöillä 40–50%:ssa maksimaalisesta aerobicisesta tehosta (McArdle 2007, 460-486). Paljon harjoitelleilla tämä saattaa olla jopa 80 % (McArdle 2007, 460-486). Tässä tutkimuksessa iskutilavuuden kasvu on havaittavissa aerobicisen kynnyksen sykkeen voimakkaassa tilastollisesti merkittävässä laskussa perusryhmällä (Kuva 33) sekä BMI-luokassa viikkojen 1 viikkoon 8 tapahtuneessa merkittävässä sykkeen laskussa normaali- ja korkea luokilla (Kuva 34). Suhteellinen muutos aerobicisella kynnyksellä oli suurempaa BMI-luokilla.

Anaerobisella kynnyksellä tapahtuneet sykkeen muutokset ovat myös yleisesti kirjallisuudessa tutkittua. Keskeisin anaerobista kynnystä rajoittava tekijä on maksimaalinen hapenotto- ja sen rajoittavin tekijä on hemoglobiinimassa. Niinpä verimäärä ja sydämen

iskutilavuus on keskeisessä asemassa kuormituksen kasvaessa. Sydämen sykintätaajuudella ja iskuutilavuudella on suora vaikutus minuuttitulavuuteen. Syke sinällään ei kerro mitään suorituskyvystä. Tämä tutkimus osoitti, että anaerobisella kynnyksellä tapahtui tilastollisesti merkittäviä muutoksia kummassakin luokassa ja lähes kaikissa ryhmissä luokan sisällä. Anaerobisen kynnyksen syke muuttui viikosta 1 viikkoon 5 merkittävästi ja enemmän kuin viikosta 5 viikkoon 8. Osaltaan tämä myös kuvastaa sykereservin kasvua ja näin ollen myös maksikestävyyskunnan kasvua. Tasoryhmässä sykkeen muutos oli tilastollisesti merkittävää viikosta 1 viikkoon 5 aktiivi- ja perusr ryhmällä. Normaali- ja korkealuokalla muutos oli myös tilastollisesti merkittävää viikosta 1 viikkoon 8. BMI-luokassa anaerobisen kynnyksen sykkeen muutos oli tilastollisesti merkittävää viikosta 1 viikkoon 5 matala- ja korkea luokalla. Viikon 5 ryhmien välinen ero oli merkittävä matalan- ja korkean välillä. Suhteellisten muutosten osalta huomattavaa on, että BMI-luokassa on tilastollisesti merkittävä sykkeen nousu korkea luokalla viikosta 5 viikkoon 8. Tämä voi selittyä harjoittelujakson kuormittavuudesta ja heikosta palautumisesta.

Tieteellisesti sykkeen laskua on vaikea todentaa. Voidaan olettaa selitykseksi jännitys viikolla 1. Tämä nostaa adrenaliinia ja sykettä. Jännitys on korostunut viikolla 1 uudessa tilanteessa, tätä kautta ns. sykereservi on pieni. Viikoilla 5 ja 8 tilanne on ollut jo rennompi ja aloitusyke matalampi, näin ollen myös sykereservi laajempi ja syke kynnyksillä on laskenut. Tuloksissa korostuu viikon 1 jännitys ja sen aiheuttama sykereaktio.

9.3. Ventilatoriset ekvivalentit

Useissa tutkimuksissa mitataan eli hapenkulutuksen ekvivalenttia ja eli hiilidioksidin tuoton ekvivalenttia suorissa testeissä hengityskaasujen osalta. Yhtäjaksoinen aerobinen kohtuu tehoinen liikunta lisää tutkimuksien mukaan lihasten hapenkulutusta ja hiilidioksidin tuottoa sekä keuhko tuuletus (VE) kasvaa. (McArdle ym. 2007, 460-486). Lisääntynyt lihassolujen hapenkäyttö (VO_2) näkyy myös tuloksissa sekä samoin lisääntynyt hiilidioksidin tuotto. Tutkimuksesta voidaan selkeästi havaita aerobisella kynnyksellä tilastollisesti merkittävänä eroja BMI-luokassa matalaluokan alhaisempi hiilidioksidin tuotto suhteessa keuhko tuuletukseen ($EqCO_2$). Samalla havaitaan myös sama tilastollisesti merkittävä ero aerobisella kynnyksellä BMI-luokassa muihin ryhmiin matalaluokan matalampi hapenkulutuksen suhde keuhkotuuletukseen. Hengityslihasten kestävyydellä

on suora yhteys myös kestävyys suorituskyvylle (McArdle ym. 2007, 460-486). Tutkimuksissa on osoitettu, että hengityksen epälineaarinen kiihtyminen eli hengityskynnys anaerobisella kynnyksellä siirtyy kovemmalle suoritus teholle. Samalla myös maksimaalinen keuhkotuuletus kasvaa lähemmäs maksimaalista tahdonalaista hengityskapasiteettia. Nämä seikat yhdessä selittävät sen, että viikkojen välillä luokkien sisällä ei nähty tilastollisesti merkittäviä muutoksia ventilatorisissa ekvivalenteissa.

Tilastollisesti merkittävimmät erot ja kiinnostavimmat erot tasoryhmässä nähtiin hapen ventilaatioekvivalentin muutoksissa. Aerobisella kynnyksellä tasoryhmässä EqO_2 nousua harraste- ja perusryhmällä. BMI-luokassa muutokset olivat hyvin samankaltaisia testi- viikkojen välillä eri ryhmissä. BMI-luokassa EqO_2 nousi normaaliluokassa viikosta 1 viikkoon 8 ja korkealuokassa viikosta 1 viikkoon 5 sekä viikosta 1 viikkoon 8 tilastollisesti merkittävästi (Kuva 31).

Anaerobisella kynnyksellä tulokset ovat hyvin samankaltaisia ja BMI-luokassa ero tilastollisesti merkittävämpiä ryhmien välillä sekä ryhmän sisällä viikkojen välillä. $EqCO_2$ Absoluuttinen ero tilastollisesti merkittävämpänä havaitaan BMI-luokassa matalaluokan korkeampana $EqCO_2$ arvona. Suhteelliset muutokset jäivät anaerobisella kynnyksellä vähäisiksi tasoryhmissä ja BMI-luokissa sekä ryhmien sisällä viikkojen välillä. Suhteellisessa EqO_2 arvossa oli viikosta 5 viikkoon 8 havaittavissa tilastollisesti merkittävät erot aktiiviryhmässä sekä normaaliluokassa (Kuva 32). Nämä yksittäiset poikkeamat vaatisivat jatko tutkimusta eikä niille löytynyt yksilöllistä selitystä tässä tutkimuksessa.

10. JOHTOPÄÄTÖKSET

Yleisesti voidaan sanoa, että aerobisen ja anaerobisen kynnyksen määrittämiseen on monta keinoa. Tärkeimpiä tekijöitä kestävyysuorituksen ja $VO_2\max$ ovat hengityselimistön ja sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta. Ehkä tärkeimpänä on sydän- ja verenkiertoelimistön toiminta ja sen harjoittaminen. Keuhkojen ja lihaksen hapen diffuusio on ratkaiseva $VO_2\max$ vaikuttava tekijä. Hengityskaasujen, sykkeen ja veren laktaatin avulla pyritään määrittelemään $VO_2\max$ sekä aerobinen ja anaerobinen kynnyksen. Tutkimuksissa on osoitettu, että paras kestävyysuorituksen vaikuttava tekijä on AnK, kuvastaa parhaiten kilpailusuoritusta kestävyyslajeissa ja korreloi maratonin tai 10km juoksun vauhtia ja aikaa. Taulukosta 1, 2, ja 3 huomataan, on kynnyksen määrittämiseksi monia erilaisia metodeita.

Hengityskaasujen ja sykkeen analysointia kynnyksen määrittämisessä ei tutkimuksien mukaan voi pitää validina, koska testit eivät ole välttämättä toistettavia ja kynnyksen kuormitus tasoissa on eroja. Laktaattitaso nousu veressä aiheuttaa hyperventiloitua ja ventilaation nousua sekä sykkeen nousua. Tämä on useissa tutkimuksissa yhdistetty kynnyksenmääritys metodiksi. Tieteellisessä kirjallisuudessa tähän suhtaudutaan kriittisesti. Hengityskaasujen analysoinnissa on virheitä, joita ei välttämättä voida sulkea pois. Perusteltua onkin kynnyksen määrittämisessä käyttää apuna hengityskaasuanalysointia, sykettä ja laktaattia.

Harjoittelun spesifisyydellä voidaan vaikuttaa haluttuihin tekijöihin suorituksessa. Kestävyysharjoittelun vaikutukset hengityskaasujen kinetiikkaan on merkittävin tekijä muutoksessa. Yhteneväisyys iskutilavuuden ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä on osoitettu tutkimuksissa.

Tämä tutkimus osoittaa, että peruskoulutuskautensa harjoittelulla voidaan vaikuttaa merkittävästi suorituskykyyn. Vaikkei harjoittelu ole spesifistä ja harjoittelun intensiteetti vaikuttaa harjoitusvaikutukseen merkittävästi. Parhaimpiin tuloksiin päästään silloin, kun

harjoittelu on monipuolista ja harjoittelulla voidaan vaikuttaa lihaksistoon, sydämen, iskutilavuuteen, sykkeeseen, veren laktaattiin, hapenottoon, ventilaatioon sekä muihin fysiologisiin tekijöihin, joista merkittävin on suorituksen taloudellisuuden parantuminen.

Varusmiesten jakaminen peruskoulutuskauden alussa tasoryhmiin palvelusta edeltävän ajan liikunta-aktiivisuuden perusteella on selkeä ja hyvä jako, jonka perusteella ainakin tämän tutkimuksen mukaan oli selvittää aerobisen ja anaerobisen kynnyksen muutokset ajassa, sykkeessä ja ventilaatioekvivalenteissa. Samoin varusmiesten jakaminen BMI-luokkaan osoittautui tämän tutkimuksen mukaan hyväksi luokittelutavaksi, jos halutaan tutkia peruskoulutusjakson vaikutuksia kynnyksiin sekä vertailla luokan sisällä tapahtuvia muutoksia ryhmien välillä tai mahdollisesti ryhmän sisällä viikkojen välillä. Kun tässä tutkimuksessa keskityttiin pelkästään kestävyyskuntoon ja siinä tapahtuneisiin muutoksiin peruskoulutusjakson aikana pelkästään BMI-luokkaan jakaminen ei ole järkevää, koska ryhmän sisällä voi olla merkittäviä eroja kestävyyskunnossa. Tähän BMI-luokittelu ei sovellu.

Tämän tutkimuksen selkeimpänä johtopäätöksenä voidaan vetää se, että peruskoulutusjakso on vaikuttanut kaikilla positiivisesti kynnyksiin. Suurimman hyödyn peruskoulutusjakson harjoittelusta saivat tasoryhmästä perusryhmä sekä matala- ja korkealuokka BMI-luokasta. Koska tässä tutkimuksessa on kynnykset määritetty hengityskaasujen perusteella olisi mielenkiintoista nähdä vastaava tutkimus, jossa kynnysten määrittämiseen on lisäksi käytetty vain laktaattia, olisivatko muutokset ajassa, sykkeessä ja hengityskaasuissa samankaltaisia tai löydettäisiinkö jotain muita merkittäviä tilastollisia muutoksia.

11. LÄHTEET

American College of Sport Medicine 2009. ACSM Guidelines for exercise testing and prescription. Wolters Kluver, Philadelphia

Baldari C, Guidetti L (2000) A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc* 32(10):1798-802

Bingisser R, Kaplan V, Scherer T, Russi EW, Bloch KE (1997) Effect of training on repeatability of cardiopulmonary exercise performance in normal men and women. *Med Sci Sports Exerc* 29:1499-1504

Bosquet L, Leger L, Legros P (2002) Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med* 32:675-700

Brown SJ, Brown JA (2009) Heart rate variability and ventilatory efficiency. *Int J Sports Med* 30(7):496-502

Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams C, Doust JH (2000) Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol* 89(5):1744-52

Casaburi R, Storer TW, Ben-Dov I, Wasserman K (1987). Effect of endurance training on possible determinants of $\dot{V}O_2$ during heavy exercise. *J Appl Physiol*. 1987 Jan;62(1):199-207

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.

Davis JA (1985) Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 17:6-21

Faff J, Korneta K (2000) Changes in aerobic and anaerobic fitness in the Polish army paratroopers during their military service. *Aviat Space Environ Med* 71:920-924

Gormley SE, Swain DP, High R, Spina RJ, Dowling EA, Kotipalli US, Gandrakota R (2008) Effect of intensity of aerobic training on VO_2max . *Med Sci Sports Exerc* 40(7):1336-43

Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, Busschaert B, Gleeson M, Jones DA, Jeukendrup AE (2002) Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol* 93:947-956

Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, Hoff J (2007) Aerobic high-intensity intervals improve VO_2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 39(4):665-71

Hiruntrakul A, Nanagara R, Emasithi A, Borer KT (2010). Effect of once a week endurance exercise on fitness status in sedentary subjects. *J Med Assoc Thai*. 2010 Sep;93(9):1070-4

Hollowell RP, Willis LH, Slentz CA, Topping JD, Bhakpar M, Kraus WE (2009) Effects of exercise training amount on physical activity energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 41(8):1640-4

Keskinen, K. L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. 2004. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen Seura ry.

Loimaala A, Huikuri H, Oja P, Pasanen M, Vuori I (2000) Controlled 5-mo aerobic training improves heart rate but not heart rate variability or baroreflex sensitivity. *J Appl Physiol* 89(5):1825-9

McArdle William D. and Katch Victor L. (2006) *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*

McArdle W. D., Katch F. I., Katch V. I. Exercise Physiology 2010. Wolters Kluwer, Philadelphia

Mero A, Nummela A, Kalaja S, Häkkinen K. Huippu-urheiluvalmennus. VK-Kustannus Oy 2016

Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R (2002) Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO_2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 34(8):1351-9

Morton RH, Billat V (2000) Maximal endurance time at VO_{2max} . *Med Sci Sports Exerc* 32(8):1496-504

Sandström M, Ahonen J. Liikkuva ihminen- aivot, liikuntafysiologia ja sovellettu biomekaniikka. VK-Kustannus Oy 2011

Scheuer J, Tipton CM (1977) Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol* 39:221-251

Seiler KS, Kjerland GO (2006) Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? *Scand J Med Sci Sports* 16:49-56

Stagno KM, Thatcher R, van Someren KA (2007) A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *J Sports Sci* 25:629-634

Strath SJ, Swartz AM, Bassett DR, Jr., O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE (2000) Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 32:S465-470

Sullivan CS, Casaburi R, Storer TW, Wasserman K (1995). Non-invasive prediction of blood lactate response to constant power outputs from incremental exercise tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;71(4):349-54

Suni J, Taulaniemi A. Terveyskunnan testaus- menetelmä terveystiikunnan edistämi- seen. Sanoma Pro 2012

Swain DP, Parrott JA, Bennett AR, Branch JD, Dowling EA (2004) Validation of a new method for estimating VO₂max based on VO₂ reserve. Med Sci Sports Exerc 36(8):1421-6

Wagner Peter D. (1996) A theoretical analysis of factors determining Vo₂MAX at sea level and altitude. Respiration Physiology 106:329-343