

**FYYSISEN AKTIIVISUUDEN KUORMITTAJUUDEN MÄÄRITTÄMINEN  
ABSOLUUTTISESTI JA KESTÄVYYSKUNTOON SUHTEUTETTUNA  
ENERGIANKULUTUKSEEN JA LANTIOLTA MITATTUIHIN  
KIIHTYVYYSARVOIHIN PERUSTUEN ALAKOULUIKÄISILLÄ LAPSILLA**

Anssi Vanhala

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2019

Ohjaajat: Taija Juutinen & Eero Haapala

## TIIVISTELMÄ

Vanhala, A. 2019. Kestävyyskunnan vaikutus kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen perusteella arvioituun fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuteen alakouluikäisillä lapsilla, 135 s., (4 liitettä).

Fyysisen aktiivisuuden on havaittu olevan positiivisesti yhteydessä fyysiseen ja henkiseen terveyteen sekä kehitykseen lapsilla. Kuormittavuus on yksi tärkeimmistä fyysisen aktiivisuuden osatekijöistä ja sen on oltava riittävän suuri, jotta halutut positiiviset vaikutukset saavutetaan. Kuormittavuutta kuvataan kuitenkin yleensä vain absoluuttisilla arvoilla, jotka eivät ota huomioon kestävyyskunnan mukaan vaihtelevaa fyysisen aktiivisuuden yksilöllistä kuormittavuutta. Kiihtyvyyssmittarit ovat yksi yleisimmistä tavoista mitata fyysistä aktiivisuutta, vaikkakin niiden kyky arvioida kuormitusta yksilöllisesti onkin kyseenalaistettu.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli ensinnä selvittää, kuinka hyvin kiihtyvyyssarvot korreloivat epäsuoralla kalorimetrialla mitatun energiankulutuksen kanssa alakouluikäisillä lapsilla, kun he suorittavat kuormitukseltaan eritasoisia aktiviteetteja. Toiseksi selvitettiin, kuinka hyvin kiihtyvyyssarvot kykenevät erottelemaan fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa yksilöllistä kuormitusta kestävyyskunnoltaan eritasoisilla lapsilla. Lisäksi tarkasteltiin, onko suhteellisessa kuormittavuudessa eroja lasten välillä, jos kuormitus suhteutetaan hapenottokyvyn reserviin tai ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen.

Tutkimukseen osallistuneet lapset (N=34) olivat alakoulun ensimmäiseltä, kolmannelta ja viidenneltä luokalta. Lapset suorittivat kahdeksan aktiviteettia, jotka olivat istuminen, kävely (4 ja 6 km/h) ja juoksu (8 km/h) juoksumatolla, porraskävely, ruutuhyppely sekä omavauhtinen juoksu ja kävely. Tehtävien aikana kiihtyvyyttä mitattiin lantiolle puettavalla kolmiakselisella kiihtyvyyssmittarilla ja energiankulutusta epäsuoraan kalorimetriaan perustuvalla liikuteltavalla hengityskaasuanalysointorilla. Lapsilta mitattiin myös lepoenergiankulutus. Lisäksi polkupyöräergometrillä toteutetun maksimaalisen kuormituskokeen perusteella määritettiin hapenkulutuksen huippuarvo sekä ventilaatiokynnykset.

Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen välillä oli voimakas korrelaatio (0,809,  $p < 0,001$ ) mitatuissa tehtävissä. Tulokset osoittivat kuitenkin, että kiihtyvyyssarvot eivät kykene erottelemaan yksilöiden kestävyyskuntoon suhteutettua kuormittumista. Lisäksi havaittiin, että vaikka lapset työskentelevät samassa suhteessa hapenottokyvyn reserviin, voi kuormitus suhteessa ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen vaihdella yksilöiden välillä. Tämän seurauksena fyysisen aktiivisuuden fysiologiset vasteet voivat olla erilaiset, jos kuormitusta kuvataan ainoastaan hapenottokyvyn reserviin suhteutettuna. Jatkossa tulisi tarkemmin tutkia mahdollisuuksia ottaa kestävyyskunto huomioon fyysistä aktiivisuutta tarkastelevissa tutkimuksissa. Tarkemman yksilöllisen kuormituksen havaitsemiseksi kuormitus tulisi suhteuttaa ennemmin ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen kuin hapenottokyvyn reserviin.

Asiasanat: Fyysinen aktiivisuus, kestävyyskunto, kuormittavuus, kiihtyvyyssmittari, lapset

## ABSTRACT

Vanhala, A. 2019. Effects of aerobic fitness level on the physical activity intensity estimation based on acceleration and energy expenditure in primary school children. University of Jyväskylä, Master's thesis, 135 pp., 4 appendices.

There is evidence that physical activity is positively associated with health and development in children. Intensity is one of the most important components of physical activity and it has to be high enough to achieve all the positive effects of physical activity. Intensity of the physical activity is traditionally expressed as absolute values which are not taking into account the aerobic fitness level of children. Accelerometers are the most popular devices to measure physical activity because they are inexpensive and relative feasible to use, although their ability to detect individual intensity of physical activity has been questioned.

The purpose of this study was firstly to examine what is the correlation between acceleration values and energy expenditure in tasks with different intensity levels in children. Secondly, the aim was to compare absolute and relative values of the physical activity intensity between children with different level of aerobic fitness. Thirdly, the study examined if there is difference in relative intensity when it is determined relative to first ventilatory threshold or relative to oxygen uptake reserve.

The subjects (N=34) were children from first, third and fifth grade of primary school. Children performed eight different activities which were sitting, walking (4 and 6 km/h) and running (8 km/h) on the treadmill, stairs climbing, playing hopscotch and walking and running with self-selected speed. During activities accelerations were measured from the hip with the accelerometer and energy expenditure was recorded breath by breath with a portable gas analyzer based on indirect calorimetry. Resting energy expenditure was also measured. Peak oxygen uptake and ventilatory thresholds were determined based on respiratory gases measured during maximal test performed till exhaustion with a cycling ergometer.

There was a strong correlation (0.809,  $p < 0.001$ ) between accelerations and energy expenditure measured in different activities. However, acceleration values could not detect individual intensity level when intensity was determined in relation to aerobic fitness. Results also showed that although children work with the same intensity relative to oxygen uptake reserve, they can work at different intensity when intensity is determined relative to the ventilatory threshold. In this case, also physiological responses of activity are different. In the future, studies should concentrate to examine how aerobic fitness level of individual could better taken into account when measuring physical activity. To detect more specific individual effects of physical activity, the intensity level should rather be determined relative to the first ventilatory threshold than oxygen uptake reserve.

Key words: Physical activity, aerobic fitness, intensity, accelerometer, children

## KÄYTETYT LYHENTEET

DLW	Doubly labeled water, Kaksoismerkitty vesi
MAD	Mean amplitude deviation, amplitudin keskimääräinen hajonta
MET	Metabolic equivalent of task, lepoaineenvaihdunnan kerrannainen
MLSS	Maximal lactate steady state, suurin työteho, jolla veren laktaattipitoisuus ei nouse kuormituksessa jatkuvasti
MVPA	Moderate to vigorous physical activity, kohtuukuormitteinen ja rasittava fyysinen aktiivisuus
PAEE	Physical activity energy expenditure, fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus
REE	Resting energy expenditure, energiankulutus levossa
ST	Sedentary time, paikallaanoloaika
TEE	Total energy expenditure, kokonaisenergiankulutus
VE	Ventilaatio
VT	Ventilatory threshold, ventilaatiokynnys
VO <sub>2</sub>	Hapenkulutus
VO <sub>2max</sub>	Maksimaalinen hapenottokyky
VO <sub>2peak</sub>	Hapenkulutuksen huippuarvo eli korkein maksimaalisessa testissä mitattu hapenkulutuksen arvo
VO <sub>2R</sub>	Hapenottokyvyn reservi (hapenkulutuksen huippuarvo–hapenkulutus levossa)

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LASTEN KASVAMINEN, KEHITTYMINEN JA FYYSINEN AKTIIVISUUS.....	3
2.1 Kasvaminen, kypsyminen ja kehittyminen.....	3
2.1.1 Sydän ja verenkiertoelimistö.....	5
2.1.2 Hengityselimistö.....	6
2.1.3 Ventilaatiokynnykset.....	7
2.1.4 Liikkumisen taloudellisuus ja energia-aineenvaihdunta.....	12
2.1.5 Aerobinen suorituskyky.....	13
2.2 Fyysinen aktiivisuus.....	15
2.2.1 Lapset ja fyysinen aktiivisuus.....	16
2.2.2 Fyysisen aktiivisuuden merkitys kehitykselle ja terveydelle.....	17
3 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN MITTAAMINEN.....	23
3.1 Kalorimetria.....	24
3.1.1 Suora kalorimetria.....	25
3.1.2 Epäsuora kalorimetria.....	26
3.2 Kiihtyvyyssmittarit.....	28
3.2.1 Mittaustekniikka.....	29
3.2.2 Mittarin asetukset ja mittauspaikka.....	30
3.2.3 Kiihtyvyyssignaalin käsittely.....	31
3.3 Muut menetelmät.....	33
3.3.1 DLW- menetelmä.....	33
3.3.2 Sydämen syketaajuus.....	34
3.3.3 Suora havainnointi.....	36
3.3.4 Haastattelut, kyselyt ja päiväkirjat.....	37
4 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN KUORMITTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN.....	39
4.1 Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhde.....	39
4.1.1 Laboratoriotutkimukset.....	40
4.1.2 Tutkimukset kenttäolosuhteissa.....	43

4.2	Kuormittavuuden absoluuttinen määrittäminen .....	44
4.2.1	Kuormittavuuden määrittäminen energiankulutuksen perustuen .....	44
4.2.2	Kuormittavuuden määrittäminen kiihtyvyyssarvoihin perustuen .....	47
4.3	Kuormittavuuden suhteellinen määrittäminen kestävyyskuntoon perustuen .....	52
4.3.1	Kuormittavuus suhteutettuna ventilaatiokynnyksiin .....	53
4.3.2	Kiihtyvyyssmittarit ja suhteellinen kuormittavuus .....	56
4.4	Muut energiankulutukseen ja kiihtyvyyteen vaikuttavat yksilölliset tekijät .....	58
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT .....	63
6	MENETELMÄT .....	65
6.1	Tutkimuksen kulku .....	65
6.2	Tutkittavat .....	65
6.3	Tutkimuksessa käytetyt mittarit .....	66
6.3.1	Kiihtyvyyssmittari .....	66
6.3.2	Hengityskaasuanalysaattori .....	67
6.4	Tutkimuksessa tehdyt mittaukset .....	69
6.4.1	Antropometria .....	69
6.4.2	Lepoaineenvaihdunta .....	70
6.4.3	Kiihtyvyys ja hapenkulutus eri aktiviteeteissa .....	71
6.4.4	Polkupyöräergometritesti .....	73
6.5	Aineiston käsittely .....	75
6.6	Tilastolliset menetelmät .....	77
7	TULOKSET .....	79
7.1	Tutkittavien perustiedot .....	79
7.2	Kiihtyvyys ja fyysinen kuormittavuus eri tehtävissä .....	80
7.3	Kiihtyvyyden ja fyysisen kuormittavuuden välinen suhde .....	81
7.4	Energiankulutus ja kiihtyvyys eri aktiviteeteissa kuntoryhmittäin .....	85
7.5	Kuormittavuuden määrittäminen kestävyyskuntoon suhteutettuna .....	93
8	POHDINTA .....	99
8.1	Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhde eri tehtävissä .....	99
8.2	Absoluuttisen ja suhteellisen kuormittumisen vertailu eri kuntoryhmien välillä .....	101
8.3	Kuormittavuus suhteessa kestävyyskuntoon .....	102

8.4 Tutkimuksen rajoitukset ja luotettavuuden arviointi .....	104
8.5 Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset.....	107
LÄHTEET .....	109
LIITTEET.....	124

# 1 JOHDANTO

Fyysisen aktiivisuuden tarkka ja luotettava mittaaminen on tärkeää. Mittaamisen avulla saadaan luotettavaa tietoa fyysisen aktiivisuuden määrästä, pystytään seuraamaan fyysisen aktiivisuuden suositusten toteutumista, lisäämään ymmärrystä fyysisen aktiivisuuden ja terveyden annosvastesuhteista sekä arvioimaan fyysisen aktiivisuuden lisäämiseen pyrkivien interventioiden vaikuttavuutta. (Sirard & Pate 2001.)

Intensiteetti eli kuormittavuus on kiistatta yksi tärkeimmistä fyysisen aktiivisuuden suositusten osatekijöistä. Liikkumisen kaikkia hyötyjä ei saavuteta, mikäli se tapahtuu liian matalalla kuormituksella. Toisaalta liian korkeatehoinen harjoittelu voi johtaa mm. ylipärasitustiloihin. (Wolpern ym. 2015.) Perinteinen fyysisen aktiivisuuden luokittelu absoluuttisiin arvoihin perustuen, esimerkiksi lepoaineenvaihdunnan kerrannaisarvoja eli MET -arvoja (*engl. metabolic equivalent of task*) käyttäen, ei huomioi kestävyyskunnan vaikutuksia liikkumisen yksilölliseen kuormittavuuteen (Kujala ym. 2017). Kestävyyskunto onkin usein pyritty huomioimaan suhteuttamalla kuormitus maksimaaliseen hapenottokykyyn, maksimisykkeeseen, hapenottokyvyn reserviin tai sykereserviin. Maksimitasoon suhteuttamalla ei aina kuitenkaan tunnisteta kuormituksen aiheuttamia yksilöllisiä fysiologisia vasteita (Wolpern ym. 2015). Tämän vuoksi onkin ehdotettu, että kuormitus tulisi suhteutettaa enemmän aerobiseen ja anaerobiseen kynnykseen, koska ne kuvaavat paremmin yksilöllisiä aineenvaihdunnallisia vasteita eri kuormitustasoilla. (Mann ym. 2013.) Kynnysten perusteella on myös mahdollista luokitella fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta tarkasti yksilöllisiin fysiologisiin vasteisiin perustuen (Fawcner & Armstrong 2008, 298).

Kiihtyvyyssmittarit ovat helppoutensa ja kustannustehokkutensa ansiosta suosittu tapa tutkia fyysisen aktiivisuuden määrää ja kuormittavuutta. Vertaamalla kiihtyvyyssarvoja mitattuun energiankulutukseen on luotu erilaisia tapoja, joilla kiihtyvyyssarvoja voidaan muuttaa fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta kuvaaviksi fysiologisiksi muuttujiksi. Kiihtyvyyssmittauksen on osoitettu korreloivan energiankulutuksen kanssa hyvin useimmissa tehtävissä. Kiihtyvyyssmittarit mittaavat kuitenkin liikettä eli biomekaanista muuttujaa ja siten vain



epäsuorasti fyysisen aktiivisuuden fysiologisia vasteita (Freedson 2005). Kiihtyvyyssmittareiden kyky erotella fyysisen aktiivisuuden yksilöllinen kuormittavuus kestävyyskunnoltaan eritasoisilta tutkittavilta onkin kyseenalaistettu (Miller ym. 2010; Ozemek ym. 2013). Kiihtyvyyssmittarien kykyä erotella yksilöllistä kuormittumista kuntotasoltaan eritasoisilla yksilöillä tai fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden suhteuttamisen kestävyyskuntotasoon on kuitenkin lapsilla tutkittu vain vähän.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millainen on energiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen suhde kuormitukseltaan erilaisissa aktiviteeteissa alakouluikäisillä lapsilla. Toiseksi halutaan selvittää, kuinka hyvin kiihtyvyyssarvot erottelevat kestävyyskunnoltaan eritasoisten lasten yksilöllisen kuormituksen eri tehtävissä, kun sitä kuvataan absoluuttisesti tai suhteessa kestävyyskuntoon. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, miten fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden arvioon vaikuttaa, jos yksilöllinen kuormitustaso suhteutetaan ventilaatiokynnyksiin hapenottokyvyn reservin sijasta.

## 2 LASTEN KASVAMINEN, KEHITTYMINEN JA FYYSINEN AKTIIVISUUS

### 2.1 Kasvaminen, kypsyminen ja kehittyminen

Lapsen kasvua ja kehittymistä kuvailtaessa yleisesti käytetyt termit ovat kasvaminen (*engl. growth*), biologinen kypsyminen (*engl. biological maturation*) ja kehittyminen (*engl. development*). Kasvamisella tarkoitetaan kehon tai sen osien koon muuttumista. Lasten kasvaessa he tulevat pidemmiksi ja painavimmiksi, sisäelinten koko kasvaa sekä kehon rasvattoman massan ja rasvamassan määrä lisääntyy. Biologisella kypsymisellä tarkoitetaan prosessia, jossa lapsi kehittyy biologisesti vaiheittain kohti aikuisuutta. Biologiseen kypsymiseen liittyviä tapahtumia ovat mm. kuukautisten alkaminen, rintojen kehittyminen, häpykarvoituksen kasvaminen ja kasvupyrähdys. Nämä somaattista ja sukupuolista kypsyäyttä kuvaavat indikaattorit tulevat esiin murrosiän aikana. Tyttöillä ensimmäinen huomattava merkki murrosiästä on rintojen kehittyminen. Häpykarvoituksen kasvaminen alkaa tyypillisesti hieman myöhemmin, jota seuraa kuukautisten alkaminen murrosiän myöhäisemmässä vaiheessa. Kuukautisten alkaessa myös pituuskasvu on yleensä nopeimmassa vaiheessa. Pojilla murrosiän ensimmäisiä merkkejä ovat kivesten suurentuminen sekä kivespussin rakenteen ja värin muuttuminen. Hieman myöhemmin seuraa peniksen ja häpykarvoituksen kasvaminen. Pituuskasvu saavuttaa pojilla nopeimman vaiheen noin 14 vuoden iässä sukupuolielinten kehityksen ollessa loppuvaiheessa. Kypsymisen vauhti kertoo, kuinka nopeasti yksilö läpäisee eri kypsymisen vaiheet. Kypsymisen ajoituksessa ja vauhdissa on yksilöllisiä eroja, jolloin samassa kronologisessa iässä olevat lapset voivat olla biologiselta kypsytydeltään hyvinkin erilaisessa vaiheessa. Nopeammin kehittyvät yksilöt ovat ikätovereitaan pidempiä ja painavampia, heillä on suurempi rasvattoman massan määrä sekä enemmän rasvamassaa ja korkeampi rasvaprosentti. Suurempi rasvattoman massan määrä korostuu etenkin nopeammin kehittyvillä pojilla ja suuremman rasvamassan määrä puolestaan tyttöillä. Yleisimmin kypsytyden astetta on arvioitu luustosta, seksuaalisen kypsymisen merkeistä, hampaista sekä biokemiallisista ja hormonaalisista tapahtumista. (Baxter-Jones 2008, 157–168.) Kehityksellä puolestaan tarkoitetaan prosessia, jossa lapset oppivat

käyttäytymään ja toimimaan yhteiskunnan odottamalla ja kulttuuriin sopivalla tavalla. (Baxter-Jones & Sherar 2007.)

Lapsien pituuskasvu ei tapahdu tasaisesti, vaan sen nopeus vaihtelee iästä riippuen. Kasvu on verrattain nopeaa varhaislapsuudessa heti syntymän jälkeen. Pituuskasvu hidastuu noin 5 vuoden ikään mennessä. Tämän jälkeen pituuskasvussa on havaittavissa kaksi nopeampaa vaihetta. Ensimmäinen maltillisempi kasvupyrähdys tapahtuu 6–8 vuoden iässä ja voimakkaampi nuoruuden kasvupyrähdys, kun lapsi on noin 11–18 vuoden ikäinen. Nuoruuden kasvupyrähdys alkaa pojilla noin kaksi vuotta myöhemmin kuin tytöillä. Poikien kasvupyrähdys on kuitenkin voimakkaampi tyttöihin verrattuna. (Baxter-Jones 2008, 158–159.)

Kehon koostumuksessa tapahtuu muutoksia kasvun ja kehityksen seurauksena erityisesti varhaislapsuuden ja murrosiän aikana. Rasvan ja rasvattoman massan suhteellinen osuus kehon painosta riippuu iästä, sukupuolesta sekä perintö- ja ympäristötekijöistä. Lasten kehon painon lisääntyminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen: Nopean kasvun vaiheeseen varhaislapsuudessa, tasaisemman kasvun vaiheeseen lapsuuden keskivaiheilla, nopeaan lisääntymiseen nuoruudessa ja taas hitaampaan kasvuun kohti aikuisuutta mentäessä. Pojilla painon lisääntyminen johtuu pääasiassa rasvattoman massan ja luuston lisääntymisestä. Tytöillä puolestaan rasvattoman massan ja luuston kehittyminen on maltillisempaa, mutta rasvamassan lisääntyminen jatkuu läpi nuoruuden. (Baxter-Jones 2008, 160–162.)

Lapset ja nuoret eivät ole pieniä aikuisia. Lapset kasvavat ja kypsyvät omaa vauhtiaan, mikä vaikuttaa fyysisen kuormituksen fysiologisiin vasteisiin (Armstrong & van Mechelen 2008). Taulukossa 1 on esitelty liikuntafysiologian kannalta keskeisimpiä eroja lasten ja aikuisten välillä. Seuraavissa luvuissa käsitellään tutkimukseen liittyviä fysiologian osa-alueita ja niiden erityispiirteitä lapsilla.

TAULUKKO 1. Lasten ja aikuisten väliset erot keskeisimmissä fysiologisissa muuttujissa (muokailtu Takken ym. 2017).

Fysiologinen muuttuja	Ero aikuisten ja lasten välillä
<b>Sydän- ja verenkiertoelimistö</b>	
VO <sub>2</sub> max (L/min)	Matalampi
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	Korkeampi
Submaksimaalinen syke (lyöntiä/min)	Korkeampi
Maksimisyke (lyöntiä/min)	Korkeampi
Iskutilavuus (ml/lyönti)	Matalampi
Sydämen minuuttitulavuus suhteessa osuuteen VO <sub>2</sub> max	Matalampi
Valtimo-laskimo happiero	Korkeampi
Lihaksen verenvirtaus	Korkeampi
Systolinen ja diastolinen verenpaine, mmHg	Matalampi
Sydänlihaksen hapenpuute	Harvinainen
<b>Hengityselimistö</b>	
Kertahengitystilavuus, L	Matalampi
Hengitysfrekvenssi	Korkeampi
Maksimiventilaatio	Matalampi
Ventilaation hyötysuhde (V <sub>E</sub> /VO <sub>2</sub> )	Matalampi
<b>Lihaskudos</b>	
Rasvan hyödyntäminen energia-aineenvaihdunnassa	Korkeampi
Hiilihydraattien hyödyntäminen energia-aineenvaihdunnassa	Matalampi
Maksimi laktaattipitoisuus kuormituksessa	Matalampi
Glykolyyttinen kapasiteetti	Matalampi
Palautuminen kuormittavasta liikunnasta	Nopeampi

### 2.1.1 Sydän ja verenkiertoelimistö

Lapsen kasvaessa ja kehittyessä sydämen syketaajuus laskee sekä levossa että absoluuttisessa submaksimaalisessa kuormituksessa. Leposykkeen on havaittu laskevan 5 ja 15 ikävuoden välillä noin 10–15 lyöntiä minuutissa. Tämän on selitetty johtuvan sinussolmukkeeseen solujen vähenemisestä ja tämän seurauksena syketaajuuden laskusta. On myös ehdotettu, että sykkeen hidastuminen on yhteydessä kasvun ja kypsymisen seurauksena tapahtuvaan

perusaineenvaihdunnan hidastumiseen. Tyttöjen leposyke on tyypillisesti 3–5 lyöntiä korkeampi kuin pojilla. (Winsley 2007.)

Lapsilla on aktiviteetista riippumatta korkeampi syke aikuisiin verrattuna, kun suoritus tehdään tietyllä hapenkulutuksen tai absoluuttisen intensiteetin tasolla. Tämä on luonnollista, sillä lasten energiankulutus on korkeampi, mikä vaatii sydämeltä suurempaa minuuttitilavuutta. Lapset joutuvat lyhyemmistä jaloista johtuen askeltamaan tietyllä kävely tai juoksunopeudella aikuisia tiheämmin, jolloin työn ja energiankulutuksen määrä lisääntyy. Tiheämmästä askelluksesta seuraa myös lyhyempi jarrutusvaihe, mikä vähentää elastisen energian hyödyntämistä johtaen liikumisen heikompaan taloudellisuuteen. (Lacour & Bourdin 2015.) Koska lasten sydämen isku-tilavuus on alhaisempi kuin aikuisilla, on sykkeen oltava korkeampi riittävän minuuttitilavuuden saavuttamiseksi. Tyttöillä on poikia korkeampi syke submaksimaalisessa kuormituksessa sydämen pienemmästä isku-tilavuudesta johtuen. (Winsley 2007.)

Maksimaalinen syketaajuus on lapsilla yleensä noin 195–210 lyöntiä minuutissa. Yksilöiden väliset erot ovat noin 5–12 lyöntiä, ilmeisesti perimästä johtuen. (Winsley 2007.) Maksimaalisen sykkeen on progressiivisissa testeissä havaittu pysyvän lapsilla muuttumattomana ainakin myöhäiseen teini-ikään asti, minkä seurauksena aikuisille suunnatut iän huomioivat maksimaalisen sykkeen ennustekaavat (esim. 220–ikä) eivät sovellu lapsille (Rowland 2008, 256).

### **2.1.2 Hengityselimistö**

Hengityselimistön perustehtävänä on kaasujenvaihto keuhkojen alveoleissa, jossa kapillaariveressä oleva hiilidioksidi siirtyy hengitettäväksi ulos ja hengitetystä ilmasta saatu happi verenkierron kautta kudoksille. Terveillä lapsilla hengityksen ei ajatella olevan suorituskykyä rajoittava tekijä. (Nixon 2008, 70.)

Hengityksen vaste kuormituksen lisääntymiselle on lapsilla samankaltainen kuin aikuisilla. Minuuttiventilaatio kasvaa kuormituksen lisääntyessä tasoittaakseen lisääntyntä hiilidioksidintuottoa, tarjotakseen enemmän happea verenkierron kuljetettavaksi ja minimoidakseen happamuutta. Lapsilla voidaan progressiivisesti kasvavassa kuormituksessa havaita sekä ventilaatiokynnys (VT1) sekä respiratorinen kompensatiokynnys (toinen ventilaatiokynnys, VT2).

Maksimaalinen ventilaatio maksimikuormituksessa on noin 60–70 % maksimaalisesti tahdonalaisesta ventilaatiosta, kuten aikuisillakin. (Fawkner 2008, 243.)

Hengitysvasteissa on kuitenkin myös eroja lasten ja aikuisten välillä johtuen hengityselimistön mekaanisten ominaisuuksien muuttumisesta sekä aineenvaihdunnallisen kapasiteetin ja toimintakyvyn muutoksista kasvun ja kehittymisen seurauksena. Suurin selittävä tekijä on keuhkon rakenteen muuttuminen kasvun seurauksena. Keuhkojen koko suurenee, hengitysteiden ja alveolien koko suurenee ja niiden määrä lisääntyy sekä keuhkojen täyttymisen mekaniikassa tapahtuu muutoksia. Keuhkojen kasvaessa myös ilmanvastus pienenee. Keuhkojen tilavuuden ja alveolien määrän lisääntyessä. Lasten kasvaessa keuhkojen rakenne myös jäykistyy sidekudoksen tiheyden lisääntyessä, mikä johtaa keuhkojen tehokkaampaan toimintaan elastisuuden parantuessa. (Fawkner 2008, 243–244.)

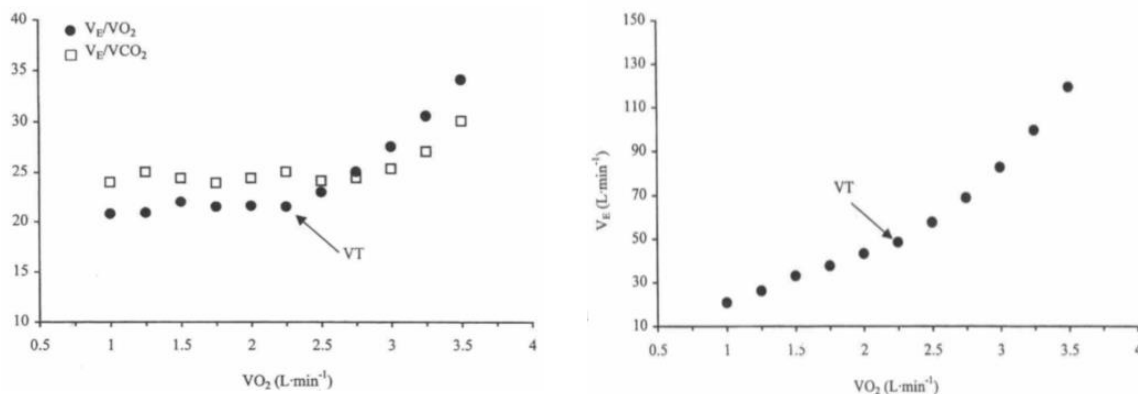
Lapsilla on tapana hyperventiloida, minkä seurauksena hengittäminen on epätaloudellisempaa aikuisiin verrattuna. Tämä näkyy korkeampana kehon painoon ja aineenvaihdunnan vaatimuksiin suhteutettuna ventilaationa. Lapsilla on kuitenkin havaittu olevan alhaisempi valtimoveren hiilidioksidipitoisuus rasituksen aikana verrattuna aikuisiin, josta voidaan päätellä, että hengityskeskusten herkkyys ja/tai sen hermostollinen ohjaus lisääntyy iän myötä. (Fawkner 2008, 245.)

### **2.1.3 Ventilaatiokynnykset**

Hengityksen avulla voidaan nopeasti säädellä kehon happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Kevyen ja kohtuukuormitteisen suorituksen aikana ventilaatio lisääntyy lineaarisesti suhteessa hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton lisääntymiseen. Kuormitustason edelleen noustessa ventilaation ja hapenkulutuksen suhde kuitenkin muuttuu. (McArdle ym. 2014, 291.)

Ventilaatiokynnyksellä (VT1) tarkoitetaan kohtaa, jossa kuormituksen kasvaessa ventilaatio lisääntyy nopeammin suhteessa hapenkulutuksen lisääntymiseen (McArdle ym. 2014, 291). Sen määrittämiseen on perinteisesti käytetty myös muutoksia hiilidioksidin tuotossa ja ventilaatioekvivalenteissa hapelle ( $VE/VO_2$ ) ja hiilidioksidille ( $VE/VCO_2$ ) (kuva 1). VT1:n kohdalla

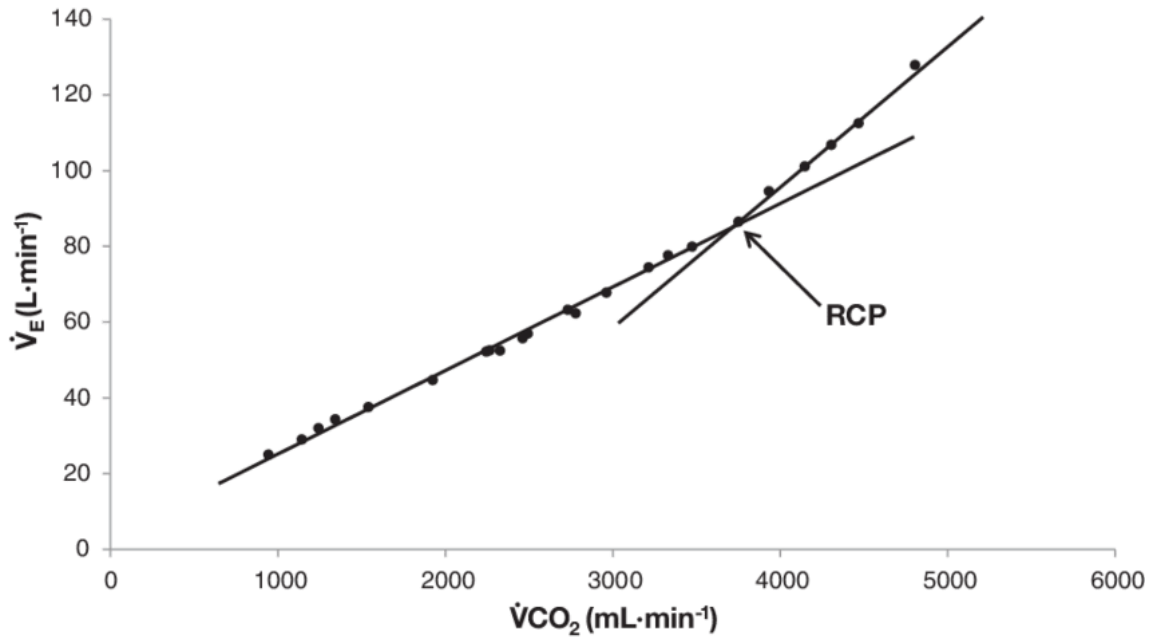
ventilaatio lisääntyy suhteessa hapenkulutukseen, mutta ei suhteessa hiilidioksidin tuottoon. Yleensä määrittäminen tapahtuu piirtämällä hengityskaasujen muuttuminen suhteessa aikaan, kuormaan tai hapenkulutukseen (Mahon & Cheatnam 2002.) Muutokset hengityskaasuissa johtuvat anaerobisen glykolyysin aiheuttaman happamuuden puskuroinnista natriumbikarbonaatin avulla, minkä seurauksena hiilidioksidin määrä verenkierrassa lisääntyy. Hiilidioksidin määrän lisääntyminen stimuloi ventilaation lisääntymistä. Kynnystä on pidetty kohtana, jolloin energi-ankulutus ylittää määrän, jonka mitokondriot kykenevät hapellisesti tuottamaan ja joudutaan turvautumaan hapettomaan eli anaerobiseen energiantuottoon. (McArdle ym. 2014, 291.) Useat muutkin tekijät kuin happamuuden ja hiilidioksidintuoton lisääntyminen vaikuttavat myös hengitykseen. Näitä tekijöitä ovat lisääntynyt kaliumin ja katekoliamiinien konsentraatio veressä, keskushermoston ennakoiva hengityksen säätely sekä lihaksista saapuva palaute lihasten supistuksista ja kemiallisista muutoksista. Muut hengitykseen vaikuttavat tekijät voivat häiritä kynnystä määrittämistä tai jopa peittää sen kokonaan. Beaver ym. (1986) ovatkin suositelleet, että VT1:sen määrittämiseen käytetään kohtaa, jossa  $V_{CO_2}$  lisääntyy suhteessa  $VO_2$ :een. Hiilidioksidin määrä lisääntyy verenkierrassa, kun vetyioneja puskuroidaan natriumbikarbonaatilla. Heidän mukaansa tämä kuvaa parhaiten nimenomaan happamuuteen liittyviä muutoksia elimistössä. (Beaver ym. 1986; Mahon & Cheatnam 2002.)



KUVA 1. Ensimmäisen ventilaatiokynnyksen (VT1) määrittäminen ventilaatioekvivalentin (vasemmalla) sekä ventilaation ja hapenkulutuksen suhteen (oikealla) perusteella. (mukailtu Mahon & Cheatnam 2002.)

Kuormituksen edelleen lisääntyessä ventilaatio lisääntyy sen yrittäessä puskuroida lisääntyneen anaerobisen energiantuoton aiheuttamaa pH:n laskua. Toista kohtaa, jossa ventilaatio lisääntyy suhteessa hapenkulutukseen, kutsutaan respiratoriseksi kompensaatiokynnykseksi (kuva 2). (McArdle ym. 2014, 291.) Respiratorisella kompensaatiokynnyksellä ventilaatio kiihtyy hapenkulutuksen lisäksi myös suhteessa hiilidioksidintuottoon (Fawcner 2008, 245). Kynnyksestä on käytetty kirjallisuudessa myös nimityksiä dekompensoitu metabolinen asidoosi ja toinen ventilaatiokynnys (Maciejzyk ym. 2014). Laktaatteja tarkasteltaessa kynnyks on määritetty korkeimmaksi rasiustasoksi, joka voidaan säilyttää ilman jatkuvasti kasvavaa laktaatin määrää veressä eli anaerobiseksi kynnykseksi. Rajaa 4 mmol/L laktaattikonsentraatiota on myös yleisesti käytetty erottamaan aerobista ja anaerobista suorittamista. Tällöin puhutaan OBLA:sta (*engl. onset of blood accumulation*). (Meyer ym. 1999.) Koska lapsilla on tietyllä kuormitustasolla pienempi laktaatintuotto aikuisiin verrattuna, on rajan sopivuus lapsille kyseenalaistettu (Armstrong & Welsman 2008, 104). OBLA:n rajaksi onkin lapsille suositeltu laktaattikonsentraatiota 2,5 mmol/L (Williams ym. 1990). Kynnyksestä on käytetty myös nimitystä MLSS (*engl. maximal lactate steady state*) (Meyer ym. 1999). Tässä työssä kynnyksistä käytetään nimityksiä ensimmäinen ventilaatiokynnys (VT1) ja toinen ventilaatiokynnys (VT2).



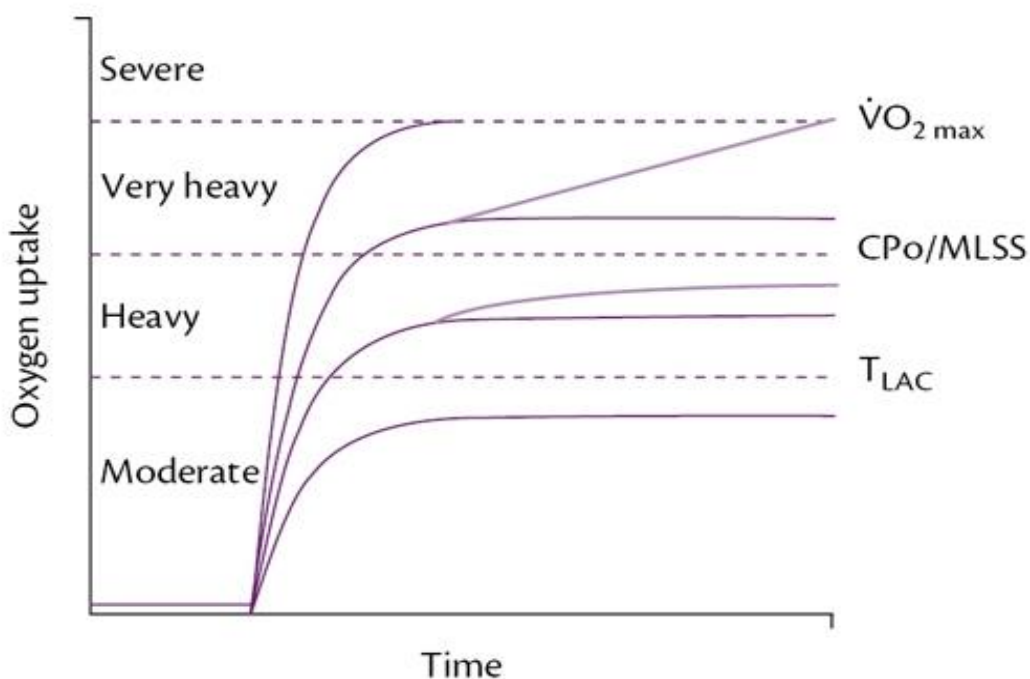


KUVA 2. Respiratorisen kompenaatiokynnyksen (RCP) eli toisen ventilaatiokynnyksen (VT2) määrittäminen (Camic ym. 2014).

Ventilaatiokynnys voidaan lapsilla määrittää toistettavasti ja tarkasti käyttämällä juoksumatto- tai polkupyöräergometritestiä (Mahon & Cheatnam 2002). Ensimmäisen ventilaatiokynnyksen kohdalla hapenkulutus on lapsilla normaalisti 58–83 % maksimaalisesta hapenkulutuksesta vaihdellen iän, sukupuolen ja fyysisen kuntotason mukaan (Nixon 2008, 70.) Ensimmäisen ventilaatiokynnyksen on havaittu olevan pätevä tapa kuvaamaan lapsilla kuormituksen seurauksena tapahtuvia muutoksia energiantuotossa. Sen määrittäminen ei vaadi verinäytteiden ottamista, sen on havaittu korreloivan maksimaalisen hapenottoyvyn ja kestävyyskunnan kanssa aikuisilla sekä työskentelykapasiteetin kanssa lapsilla, sen saavuttamiseksi ei tarvita maksimaalista suoritusta, sitä voidaan käyttää kuvaamaan suorituksen kuormittavuutta, ja sen on havaittu nousevan kestävyysharjoittelun seurauksena. Ensimmäinen ventilaatiokynnys on lapsilla lähempänä  $VO_{2max}$  arvoa kuin aikuisilla ja se laskee iän myötä. Sen on havaittu olevan matalampi tytöillä kuin pojilla. (Nixon 2008, 70.) Hebestreit ym. (2000) havaitsivat ventilaatiokynnyksen määrittämisen olevan toistettava ja käyttökelpoinen tapa aerobisen kunnan määrittämiseen lapsilla. Maciejczyk ym. (2004) puolestaan totesivat toisen ventilaatiokynnyksen olevan hyvä aerobisen kunnan mittari normaali- ja ylipainoisilla lapsilla. He seurasivat kynnyksen kehittymistä suhteessa  $VO_{2max}$  -arvoon 9–10 -vuotiailla pojilla neljän vuoden ajan. (Maciejczyk ym.

2014.) Ventilaatiokynnyksiä on kuitenkin vaikea havaita lapsilla, jotka hyperventiloivat (hengittävät enemmän kuin kaasujen vaihdon vuoksi olisi tarpeen) jo erittäin matalilla kuormitustasoilla, ja jotka eivät kykene lisäämään ventilaatiota riittävästi korkeimmilla työtehoilla tai jotka ovat erittäin huonossa fyysisessä kunnossa. (Nixon 2008, 70–71.)

Kynnyksiä on käytetty myös fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden luokitteluun (kuva 3). Ensimmäisen ventilaatiokynnyksen tai laktaattikynnyksen ( $T_{LAC}$ , engl. *lactate threshold*) on ajateltu kuvaavan kohtuukuormitteisen (moderate) ja rasittavan (vigorous) fyysisen aktiivisuuden rajaa. MLSS puolestaan erottaa rasittavan (engl. *heavy*) ja erittäin raskaan (engl. *very heavy*) fyysisen aktiivisuuden. (Fawcner & Armstrong 2008, 298.) Hengityskaasuja tarkastellessa tämä vastaa toista ventilaatiokynnystä.



KUVA 3. Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden luokittelu fysiologisten kynnysten perusteella (Armstrong & Barker 2009).

#### **2.1.4 Liikkumisen taloudellisuus ja energia-aineenvaihdunta**

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että lapsilla on kehon painoon suhteutettuna korkeampi lepoenergiankulutuksen kuin aikuisilla ja pojilla korkeampi kuin tytöillä (Bitar ym. 1999). Lasten suhteellisesti korkeampaa lepoenergiankulutusta selittyy useilla tekijöillä, johon liittyvät kasvu ja kypsyminen ja erot kehon painossa. Metabolisesti aktiivisten sisäelinten suhteellisesti isompi osuus kehossa ja muutokset sisäelinkohtaisessa aineenvaihdunnan määrässä, lyhyemmät alaraajat, vähäisempi lihasmassan ja rasvan määrä ovat kaikki tekijöitä, jotka vaikuttavat matalampaan lepoenergiankulutukseen lapsilla. (Butte ym. 2018; Harrell ym. 2005.)

Lapsilla on myös korkeampi kehon painoon suhteutettu energiankulutus eri aktiviteeteissa kuin aikuisilla. Suuremman energiankulutuksen on ajateltu johtuvan fysiologisista ja kokoon liittyvistä tekijöistä. (Ridley & Olds 2008.) Liikkumisen taloudellisuutta kuvataan kehon painoon suhteutettuna hapenkulutuksena tietyllä absoluuttisella submaksimaalisella kävely- tai juoksupopeudella. Liikkuminen muuttuu taloudellisemmaksi, mitä vanhemmaksi lapsi varttuu. Merkittävimmät syyt lasten epätaloudellisemmalle liikkumiselle näyttäisivät olevan suurempi askeltiheys, korkeampi kehon pinta-alan ja kehon painon suhde sekä suurempi koaktivaation määrä alaraajojen lihaksissa. Poikien kehon massa suhteutettu hapenkulutus on yleensä korkeampi, kuin tytöillä, mikä selittyy poikien suuremmalla lihasmassan määrällä. Kehon kokoon liittyvät fysiologiset, biomekaaniset ja rakenteelliset tekijät selittävät liikkumisen taloudellisuuden yksilölliset vaihtelut saman ikäisten lasten ja nuorten välillä. (Morgan 2000, 286–288.)

Sekä aerobinen että anaerobinen suorituskyky paranevat lasten kasvaessa ja kehittyessä. Anaerobinen suorituskyky kehittyy aerobista suorituskykyä enemmän nuoruuden läpi aikuisuuteen siirryttäessä. Anaerobista suorituskykyä on yleisimmin kuvattu lyhytkestoisessa maksimaalisessa pyöräilytestissä (Wingate-testi) mitatulla huippu- tai keskiteholla, joka on suhteutettu kehon kokoon, kehonkoostumukseen ja reiden tilavuuteen. Anaerobinen ja aerobinen teho kehittyy pojilla enemmän kuin tytöillä. Kehon painoon suhteutettu hapenkulutuksen huippuarvo kasvaa pojilla aina nuoreen aikuisuuteen asti, kun se tytöillä näyttää tasaantuvan noin 14 -vuoden iässä. (Armstrong & Fawcner 2008, 213–214).

Lihاسبیوسیان perustuvat tutkimukset ovatkin antaneet selviä viitteitä, että oksidatiivisten tyyppin I lihassolujen suhteellinen osuus laskee kehittymisen seurauksena. Lapsilla on havaittu myös korkeampi oksidatiivisten entsyymien ja alhaisempi glykolyyttisten entsyymien aktiivisuus aikuisin ja nuoriin verrattuna. Tämä näkyy myös korkeampana rasvojen käyttämisenä energianlähteenä. Glykolyyttinen aktiivisuus lisääntyy iän myötä lisäten anaerobisen energiantuoton osuutta. (Armstrong & Fawcner 2008, 214–215.) Lasten parempi oksidatiivinen kapasiteetti näkyy aikuisiin nähden nopeampana hapenkulutuksen lisääntymisenä suorituksen absoluuttisen kuormituksen lisääntyessä (Fawcner & Armstrong 2008, 297–324).

### 2.1.5 Aerobinen suorituskyky

Kestävyyskuntoa kuvataan yleisesti kykynä kuljettaa happea työskenteleviin lihaksiin ja kykyä käyttää sitä energiantuotannossa. Maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_{2max}$ ) kuvaa suurinta määrää happea, jonka avulla yksilö kykenee tuottamaan energiaa fyysisen suorituksen aikana.  $VO_{2max}$  on yleisesti hyväksytty olevan paras yksittäinen arvo kuvaamaan yksilön aerobista kuntoa. (Armstrong ym. 2008, 269.)

Maksimaalinen hapenottokyky määritetään yleensä laboratoriossa uupumukseen asti tehtävällä rasituskokeella. Tyypillisimmin rasituskoe tehdään polkupyöräergometrilla tai juoksumatolla.  $VO_{2max}$  -arvo on juoksumatolla noin 8–10 % korkeampi verrattuna pyörätetillä mitattuun arvoon. Tämä johtuu juoksussa käytettävästä suuremmasta lihasmassasta, jolloin maksimaalista hapenottoa rajoittavat enemmän sentraaliset kuin perifeeriset tekijät. Maksimaalisen hapenotokyvyn testissä  $VO_{2max}$  määritetään kohtaan, jossa kuormituksen lisääntyessä hapenkulutus ei enää lisääny, vaan se saavuttaa ns. tasannevaiheen (*engl. plateau*). Lapset kuitenkin harvoin saavuttavat tasannevaihetta maksimaalisen hapenotokyvyn testissä, eikä sitä pidetäkään edellytyksenä lasten ja nuorten maksimaalisen aerobisen kunnan määrittämisessä. Suurimmasta rasituskokeen aikana mitatusta hapenotonarvosta onkin alettu käyttämään nimitystä  $VO_{2peak}$  eli hapenkulutuksen huippuarvo. (Armstrong ym. 2008, 96, 100.)

Absoluuttinen  $VO_{2peak}$  -arvo kasvaa iän myötä johtuen suurilta osin kehon kasvamisesta. Pojilla  $VO_{2peak}$  kasvaa yli 120 % 8–16 ikävuoden välillä ja se kaksinkertaistuu 11–17/18 ikävuoden

aikana. Tytöillä  $VO_{2peak}$  näyttäisi kasvavan ikävuosien 8-13 välillä ja sitten tasaantuvan noin 14 vuoden iässä. Kehon painoon suhteutettu  $VO_{2peak}$  säilyy pojilla melko muuttumattomana 8–18 -vuotiaana (noin 48–50 ml/kg/min), kun se puolestaan tytöillä laskee samalla ajanjaksolla keskimäärin 45:n lähtötasosta 35:een ml/kg/min. Tämä on seurausta suuremmasta rasvan määrän kertymisestä tytöille murrosiän aikana. Pojilla on tyttöjä korkeammat  $VO_{2peak}$  arvot 10 ikävuodesta lähtien riippumatta siitä, kuinka  $VO_{2peak}$  esitetään. Ennen murrosikää poikien etuna hapenottokyvyn kannalta on suurempi sydämen minuuttitilavuus kuin tytöillä. Murrosiän aikana pojat hyötyvät entisestään lisääntyneestä lihassmassasta. Suurempaa hemoglobiinikonsentraatiota on myös ehdotettu syyksi poikien kasvaneeseen  $VO_{2peak}$  arvoon teini-iässä. (Armstrong ym. 2008, 269.)

Maksimaalisen hapenottokyky kyetään mittaamaan lapsilta polkupyöraergometritestissä toistettavasti. Rivera-Brown & Frontera (1998) raportoivat hyvästä toistettavuudesta kestävyysharjoitelleilla nuorilla. Korrelaatiokerroin oli 0,89, kun vertailtiin toistotesteissä mitattuja kehon massaan suhteutettuja  $VO_{2max}$  arvoja. Turley ym. (1995) puolestaan mittasivat  $VO_{2max}$ :n 46 7–9 -vuotiaalta lapselta kahdesti ja raportoivat mittauksen välisen korrelaatiokertoimen olevan 0,92.

Lasten ja nuorten on mahdollista kehittää maksimaalista hapenottokykyään, kunhan harjoittelu tapahtuu riittävän kovalla intensiteetillä. Interventiotutkimusten mukaan sopiva intensiteetti näyttäisi olevan 85–90 % maksimisykkeestä. (Armstrong & Barker 2011.)  $VO_{2max}$  -arvon kehittämisessä on kuitenkin vaihtelua ja ainakin osa tästä vaihtelusta liittyy perinnöllisiin tekijöihin. Harjoittelun määrä vaikuttaa kehittymiseen, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti, minkä jälkeen kehitys loppu tai on vain vähäistä. Kehittyminen onkin suurempaa, jos  $VO_{2max}$  -arvo on lähtötilanteessa alhainen. Maksimaalisen hapenottokyvyn kehittyminen on seurausta lisääntyneestä sydämen maksimaalisesta minuuttitilavuudesta sekä suurentuneesta valtimo- ja laskimoveren happipitoisuuden erosta. Minuuttitilavuuden lisääntyminen johtuu suurentuneesta iskutilavuudesta, maksimisykkeen pysyessä samana tai laskiessa hieman. Suurempi minuuttitilavuus yhdessä lihasten kapillaarisuonten lisääntymisen kanssa parantaa hapen kuljetusta lihassoluille ja edistää sen hyödyntämistä. Kehittyneen aerobisen kapasiteetin seurauksena tulee

liikkumisesta tietyllä absoluuttisella submaksimaalisella kuormitustasolla myös kevyempää ja fysiologisesti vähemmän kuormittavaa. (Mahon 2008, 513–514.)

## 2.2 Fyysinen aktiivisuus

Fyysinen aktiivisuuden (*engl. physical activity*) on määritelty olevan lihasten aiheuttamaa kehon liikettä, joka kasvattaa energiankulutusta lepotasosta (Caspersen ym. 1985). Fyysinen aktiivisuus voidaan luokitella sen keston, intensiteetin eli kuormittavuuden, tyypin tai frekvenssin mukaan. Frekvenssi eli esiintymistiheys kuvaa aktiivisuusjaksojen lukumäärää tietyssä ajanjaksoissa, kesto kuvaa yhden aktiivisuusjakson pituutta ja kuormittavuus puolestaan aktiivisuuden aiheuttamaa fysiologista vaikuttavuutta. Fyysinen aktiivisuus voidaan jakaa alayksiköihin myös sen mukaan, missä aktiivisuutta toteutetaan. Tällä perusteella se voidaan jakaa esimerkiksi vapaa-ajalla, kotona, koulussa ja välitunneilla esiintyvään fyysiseen aktiivisuuteen. (Corder & Ekelund 2008, 130)

Yksikköä MET on yleisesti käytetty yksikkö kuvaamaan fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta. MET-arvo kuvaa aktiivisuuden aiheuttamaa energiankulutuksen lisäystä lepoenergiankulutukseen verrattuna. (McArdle ym. 2014, 200.) 1 MET on määritelty vastaavan hapenkulutusta 3.5 ml/kg/min (Ainsworth ym. 2000, McArdle ym. 2014, 200). Kevyen fyysisen aktiivisuuden (LPA, *engl. light physical activity*) on määritetty olevan energiankulutukseltaan 1.5 – <3 MET, kohtuukuormitteisen (MPA, *engl. moderate physical activity*) 3 – <6 MET ja rasittavan (VPA, *engl. vigorous physical activity*) >6 MET. (Saint-Maurice ym. 2016.)

Fyysisen aktiivisuuden määrän lisäksi myös levossa ja passiivisesti vietetty aika on alkanut kiinnostaa tutkijoita. Liikkumattomuus tai paikallaanolo (*sedentary behavior*) on yleisesti määritelty toiminnaksi, jossa energiankulutus ei ylitä merkittävästi lepoaineenvaihdunnan tasoa. Tämä tarkoittaa istuen tai makuuasennossa tapahtuvaa toimintaa, jossa MET-arvo on alle 1,5 (lapsilla keskimäärin 5,25 ml/kg/min). (Owen ym. 2010; Pate ym. 2008; Sedentary Behaviour Research Network 2012.) Sedentaari sanan alkuperä löytyy latinasta, jossa sana ”seder” tarkoittaa istumista. (Kang & Rowe 2015.) Trembley ym. (2010) ovat esittäneet fyysistä

kuormittavuutta kuvaavan jatkumon, jossa toisessa päässä on nukkuminen ja toisessa päässä erittäin rasittava liikkuminen. Paikallaanolo on tässä jatkumossa heti nukkumisen jälkeen ennen kevyttä fyysistä aktiivisuutta. (Tremblay ym. 2010.) Paikallaanolo ei tarkoita samaa kuin inaktiivisuus, joka kuvaa fyysisen aktiivisuuden liian vähäistä kokonaismäärää (Kang & Rowe 2015).

### **2.2.1 Lapset ja fyysinen aktiivisuus**

Maailman terveysjärjestö WHO:n suositusten mukaan lasten ja nuorten tulisi liikkua reippaasti tai rasittavasti vähintään 60 minuuttia päivittäin. Lisäksi lihasvoimaa ja luustoa kehittävää harjoittelua tulisi kertyä vähintään 3 kertaa viikossa. Liikkumisen määrän lisääminen suositellusta lisää sen tarjoamia terveyshyötyjä entisestään. (WHO 2010.) Suomalainen lasten ja nuorten liikunnan asiantuntijaryhmä julkaisi oman suosituksensa kouluikäisille lapsille vuonna 2008. Tämän suosituksen mukaan lasten ja nuorten tulisi liikkua monipuolisesti ja ikään sopivalla tavalla vähintään 1–2 tuntia päivässä. Lisäksi suosituksen mukaan tulee välttää yli kahden tunnin pituisia istumisjaksoja, eikä ruutu-aika saa ylittää kahta tuntia päivässä. (Opetusministeriö, 2008.) Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytymistä tutkivan LIITU-tutkimuksen mukaan kuitenkin vain 37 % suomalaislapsista ja -nuorista liikkuu riittävästi (Valtion liikuntaneuvosto 2019). Lapset kuluttavatkin nykyisin 600–700 kcal vähemmän päivässä kuin 50 vuotta sitten (Westerterp 2013).

Lasten fyysisen aktiivisuuden väheneminen johtuu todennäköisesti enemmän sosiaalisista ja ympäristön muutoksista kuin vähentyneestä kiinnostuksesta liikkumista kohtaan. Mahdollisuudet liikkua ovat vähentyneet mm. koulujen opetussuunnitelmista sekä mukavuutta ja turvallisuutta korostavista säännöistä johtuen. Lisäksi fyysistä aktiivisuutta kertyy entistä vähemmän siirtymisistä paikasta toiseen, koulun liikuntatunneilla tai ulkona vapaan pelailun merkeissä. (Cumming & Riddoch 2008, 327-328.) Lasten fyysisen aktiivisuuden määrään vaikuttavat niin biologiset, fysiologiset kuin käyttäytymiseenkin liittyvät tekijät. Fyysisen aktiivisuuden lisäämiseen pyrkivien interventioiden tulisikin kohdistua kaikkiin näihin tekijöihin, jotta voidaan saavuttaa pysyviä käyttäytymisen muutoksia. Lasten fyysisen aktiivisuuden määrään

yhteydessä olevia tekijöitä näyttäisivät olevan ainakin sukupuoli (pojat liikkuvat enemmän), vanhempien ylipaino, fyysisen aktiivisuuden mieltymykset, pyrkimys aktiivisuuteen, koetut esteet, aiempi fyysisen aktiivisuuden määrä, terveellinen ruokavalio, mahdollisuus päästä liikuntapaikoille ja ulkona vietetty aika. (Sallis ym. 2000.)

Lasten liikkumiselle ominaista ovat nopeita pyrähdyksiä sisältävät satunnaiset ja jaksottaiset liikkumismallit (Stookey ym. 2011). Lasten liikkuminen on vähemmän suunnitelmallista, aikaan sidottua tai organisoitua aikuisiin verrattuna (Corder & Ekelund 2008, 129). Lapset liikkuvatkin huomattavasti suuremman osan (19 %) kokonaisliikkumisajastaan kovalla intensiteetillä verrattuna nuoriin (9 %) tai aikuisiin (4 %) (Westerterp 2013).

### **2.2.2 Fyysisen aktiivisuuden merkitys kehitykselle ja terveydelle**

Säännöllisellä fyysisellä aktiivisuudella on yleisesti osoitettu olevan merkittäviä terveydelle hyödyllisiä vaikutuksia. Fyysisen aktiivisuuden on havaittu vähentävän kroonisten sairauksien ja ennenaikaisen kuoleman riskiä. Positiiviset vaikutukset välittyvät useiden eri biologisten mekanismien kautta. Näitä mekanismeja ovat suotuisampi kehonkoostumus, parempi veren rasva-profiili, parempi glukoositasapaino ja insuliinisensitiivisyys, madaltunut verenpaine, parempi autonomisen hermoston toiminta, vähäisempi systeemisen tulehduksen määrä, vähentynyt veren hyytyminen, parantunut verenkierto koronaarisuonissa, sydämen tehostunut toiminta sekä valtimoiden endoteelin parantunut toiminta ja vähentynyt valtimojäykkyys. (Walburton ym. 2006.)

Fyysisen aktiivisuuden yhteys terveyteen on lapsilla heikompi kuin aikuisilla. Tämä johtuu lasten suuremmasta fyysisen aktiivisuuden määrästä ja aikuisten pidemmästä elinajasta, jonka seurauksena sairauksilla on ollut enemmän aikaa kehittyä. Myös epätarkat mittausmenetelmät heikentävät osaltaan aktiivisuuden määrän ja sen terveydellisten vaikutusten todellisen yhteyden havaitsemista. (Corder & Ekelund 2008, 129.)

Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että fyysisen aktiivisuuden hyödyt näkyvät jo lapsuudessa. Fyysinen aktiivisuuden määrä ja intensiteetti näyttäisivätkin olevan yhteydessä moniin



terveyden ja kehittymisen osa-alueisiin. Poitras ym. (2016) tekivät yhteenvedon 162 tutkimuksesta, joissa oli tutkittu objektiivisesti mitatun fyysisen aktiivisuuden ja terveyden välisiä yhteyksiä 5–17 -vuotiailta lapsilta ja nuorilta. Tutkimuksissa oli tarkasteltu fyysisiä, kognitiivisia ja psykososiaalisia muuttujia. Fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärällä oli vahva terveyden kannalta suotuisa yhteys vähäisempään lihavuuteen, kardiometabolisiin biomarkkereihin, fyysiseen kuntoon ja luuston kuntoon. Voimakkain yhteys fyysisen aktiivisuuden ja terveystuuttujen välillä havaittiin kuitenkin kohtuukuormitteisella ja rasittavalla fyysisellä aktiivisuudella. Kevyt fyysinen aktiivisuus oli selkeästi yhteydessä vain parempaan kardiometabolisten biomarkkereiden profiiliin. Tutkijoiden mukaan tulokset alleviivaavat riittävällä intensiteetillä toteutetun aktiivisuuden tarvetta sairauksien ehkäisemiseksi ja terveyden tukemiseksi, mutta osoittavat myös, että kevyellä fyysisellä aktiivisuudella ja fyysisen aktiivisuuden kokonaismäärällä on suotuisia vaikutuksia terveydelle. (Poitras ym. 2016.) Tulokset tukevat Janssenin ja LeBlancin aiemmin (2010) tekemän yhteenvedon tuloksia, joiden mukaan fyysisen aktiivisuuden tulisi olla vähintään kohtuukuormitteista merkittävien terveyshyötyjen saavuttamiseksi.

Riittävällä kuormittavuudella toteutetun fyysisen aktiivisuuden on todettu vaikuttavan sydän- ja verisuonitautien riskitekijöihin lapsilla. Haapala ym. (2017a) raportoivat vähäisemmän 3 MET:n intensiteettitason ylittävän fyysisen aktiivisuuden määrän olevan yhteydessä suurempaan valtimoiden jäykkyyteen 6-8 -vuotiailla lapsilla. 5–6 MET:n intensiteetillä suoritetun fyysisen aktiivisuuden määrä erotti lapset, jotka olivat tutkimusjoukon parhaalla neljänneksellä valtimojäykkyyden osalta. Väistö ym. (2019) puolestaan havaitsivat kahden vuoden seuranta-tutkimuksessa korkeamman lisääntyneen kohtuukuormitteisen ja rasittavan fyysisen aktiivisuuden määrän sekä vähentyneen paikallaanolon olevan yhteydessä alhaisempaan sydän- ja verisuonitautien riskiin 6-8 -vuotiailla lapsilla. Kevyellä fyysisellä aktiivisuudella havaittiin olevan heikompi yhteys sydän- ja verisuonitautien riskitekijöihin. Fyysistä aktiivisuutta seurattiin tutkimuksessa yhdistetyllä syke- ja liikesensorilla (Actiheart, CamNtech Ltd., Cambridge, UK). Sydän- ja verisuonitautien riskiä arviotiin mittaamalla vyötärön ympärystä, verenpainetta, paastoinsuliinia sekä triglyseridien ja HDL-kolesterolin määrää. Edellä mainittujen tekijöiden mukaan laskettiin myös kardiometabolinen riskiarvo. Lisääntynyt VPA, MVPA sekä PAEE (fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus) ja vähentynyt ST (paikallaanoloaika) olivat

yhteydessä matalampaan riskiarvoon, kehon rasvaprosenttiin, paastoinsuliiniin ja insuliiniresistenssiin. Lisäksi VPA, MVPA ja PAEE olivat yhteydessä korkeampaan HDL-kolesterolin määrään ja VPA matalampaan triglyseridien määrään plasmassa. LPA oli yhteydessä ainoastaan matalampaan kardiometaboliseen riskiarvoon. Lisäksi Tarp ym. (2018) havaitsivat kiihtyvyyssarvojen perusteella määritetyn fyysisen aktiivisuuden intensiteetin olevan yhteydessä kardiometabolisiin riskitekijöihin 4–18 -vuotiailla lapsilla ja nuorilla. Riskitekijöitä oli vähemmän, mitä enemmän aikaa vietettiin korkean intensiteetin aktiviteeteissa. Tutkimuksessa tarkastellut kardiometaboliset riskitekijät olivat BMI (kehon painoindeksi), vyötärön ympärysmitta, insuliini, glukoosi, triglyseridit, HDL-kolesteroli ja keskipaine.

Yksinomaan rasittavalla intensiteetillä toteutetun fyysisen aktiivisuuden on lisäksi havaittu olevan yhteydessä vähäisempään rasvan määrään kehossa ja parempaan valtimoiden endoteelin toimintaan. Tämä on merkittävä asia, sillä valtimoiden endoteelitoiminnan heikkeneminen on ateroskleroosin aikaisessa vaiheessa huomattava muutos verisuonistossa. Näiden löydösten perusteella lyhyiden ja intensiteetiltään rasittavien aktiivisuusjaksojen lisääminen näyttäisi olevan erityisen tärkeitä sydänsairauksien ennaltaehkäisyssä lapsilla ja nuorilla. Tutkimusten mukaan hyötyjä saavutetaan, kun rasittavaa liikuntaa kertyy päivittäin vähintään 4–7 minuuttia. (Bond ym. 2017.)

Erityisesti rasittavan liikunnan on osoitettu vaikuttavan suotuisasti lasten kehonkoostumukseen. Collings ym. (2016) osoittivat, että intensiteetiltään yli 2 MET:n fyysinen aktiivisuus on yhteydessä suotuisampaan kehonkoostumukseen 6–8 -vuotiailla lapsilla. Yli 3 MET:n intensiteetillä toteutetun fyysisen aktiivisuuden puolestaan havaittiin olevan yhteydessä parempaan kestävyyskuntoon. VPA:n (>6 MET) havaittiin olevan kaikista voimakkaimmin yhteydessä sekä vähäisempään rasvan määrään, että kestävyyskuntoon. Suotuisampi kehonkoostumus näkyi DXA-mittauksissa (kaksienergiainen röntgenabsorptiometria) pienempänä rasvamassaindeksinä (rasvamassa (kg)/m<sup>2</sup>). Kestävyyskunnan mittarina käytettiin maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä mitattua rasvattomaan massa suhteutettua huipputehoa. Fyysistä aktiivisuutta mitattiin sykettä ja kehon liikettä rekisteröivällä mittarilla (Actiheart, CamNtech Ltd., Cambridge, UK). Tulokset viittaavat siihen, että kevyt liikunta voi olla hyödyllistä kehonkoostumuksen kannalta, mutta vähintään kohtuukuormitteista liikkumista tarvitaan korkeamman

kuntotason saavuttamiseksi. Rasittava fyysinen aktiivisuuden lisääminen on kuitenkin tutkimuksen mukaan tehokkain keino rasvamassan vähentämiseen ja fyysisen kunnan kehittämiseen. Wittmeier ym. (2008) tutkivat kiihtyvyyssmittarilla mitatun fyysisen aktiivisuuden yhteyttä ylipainoon ja lihavuuteen 251:ltä lapselta, jotka olivat iältään 8–10 -vuotiaita. Regressioanalyysin mukaan rasittava liikunta oli käänteisesti yhteydessä kehon rasvaprosenttiin ( $r = 0,35$ ,  $p < 0,001$ ). Kohtuukuormitteisella liikunnalla ei havaittu olevan samaa yhteyttä. Sekä kohtuukuormitteinen, että rasittava fyysinen aktiivisuus alensivat todennäköisyyttä ylipainoon tai lihavuuteen. Myös Abbott & Davies (2004) havaitsivat, että rasittava tai hyvin rasittava fyysinen aktiivisuus oli ja kohtuukuormitteinen aktiivisuus puolestaan ei ollut yhteydessä kehonkoostumukseen, kun he tutkivat 5–10 -vuotiaita lapsia käyttäen kiihtyvyyssmittareita ja kaksoismerkittävää vettä eli DLW -menetelmää (*engl.doubly labeled water -method*). Tutkimustulokset osoittavat, että rasittavan fyysisen aktiivisuuden määrä näyttäisi ennustavan kohtuukuormitteisen liikkumisen määrää paremmin suotuisaa kehonkoostumista lapsilla. Tämä vahvistaa riittävän rasittavuuden merkitystä fyysisen aktiivisuuden päivittäisissä suosituksissa. (Wittmeier ym. 2008.)

Fyysisen aktiivisuuden rasittavuudella on merkitystä myös luuston kehittymisen ja terveyden kannalta. Heidemann ym. (2013) havaitsivat kahden vuoden seurantutkimuksessa suuremman MVPA:n ja vähäisemmän kevyen fyysisen aktiivisuuden tai paikallaanolon määrän olevan yhteydessä parempaan luuston kasvuun, mineraalitiheyteen, mineraalipitoisuuteen. Fyysistä aktiivisuutta mitattiin Actigraphin GT3X kiihtyvyyssmittarilla (ActiGraph, Pensacola, FL, USA), ja luustoa DXA -menetelmällä 602 alakoululaiselta (7,2–12 vuotiaita). Kiihtyvyyttä mitattiin seurantajakson keskikohdalla keskimäärin noin 6 päivän ajan, 13 tuntia päivässä. DXA -skannaus tehtiin tutkimuksen alussa ja seurantajakson loputtua. Specker ym. (2015) tekivät meta-analyysin fyysisen aktiivisuuden vaikutuksia luuston kehittymiseen tarkastelevista interventiotutkimuksista. Analyysiin valittiin yhteensä 22 tutkimusta, tutkittavat olivat iältään 3-18 -vuotiaita ja interventioiden kesto vaihteli 3-36 kuukauden välillä. Tutkijat havaitsivat interventioryhmien lapsilla 0,6-1,7 % suuremman luun kertymisen verrattuna kontrolliryhmiin. Liikkumisen vaikutukset näkyivät pääasiassa lapsilla, jotka eivät olleet vielä saavuttaneet murrosikää.

Viitteitä on myös fyysisen aktiivisuuden positiivisesta yhteydestä lasten ja nuorten henkiseen terveyteen, joskin näyttö on vielä melko heikkoa. Selvin yhteys näyttäisi olevan fyysisen aktiivisuuden ja ainakin lyhytaikaisen itsetunnon kohentumisen välillä. Lisäksi fyysisesti aktiiviset lapset ja nuoret näyttäisivät kärsivän harvemmin psyykkisistä ongelmista ja viitteitä on myös siitä, että heillä on parempi kognitiivinen kyvykkyys. Masentuneisuuden osalta näytöt ovat myös lupaavia, mutta lisää laadukasta tutkimusta tarvitaan asian vahvistamiseksi. (Biddle & Asare 2011) Parfitt ym. (2008) puolestaan havaitsivat, että fyysisen aktiivisuuden intensiteetillä näyttäisi olevan merkitystä liikkumisen aiheuttamiin psyykkisiin vaikutuksiin. Heidän havaintojensa mukaan erityisestä rasittava fyysinen aktiivisuus on yhteydessä parempaan psyykkiseen hyvinvointiin. He havaitsivat, että lapset, joille kertyy enemmän erittäin kevyttä (<1,9 MET) aktiivisuutta kokevat enemmän ahdistuneisuuden ja masentuneisuutta sekä heikompaa itsearvostusta. Toisaalta hyvin rasittava aktiivisuus (>6 MET) näyttäisi olevan yhteydessä vähäisempään ahdistuneisuuteen sekä parempaan käyttäytymiseen ja itsearvostukseen.

Hyvä kestävyyskunto on yksi merkittävimmistä terveyteen vaikuttavista tekijöistä. Se on lapsilla ja nuorilla yhdistetty mm. matalampaan alttiuteen lihavuudelle ja riskille sairastua sydän- ja verisuonitauteihin, parempaan tuki- ja liikuntaelimistön terveyteen sekä mielenterveyteen. Aerobinen kestävyyskuntotaso on terveyden kannalta merkittävä fyysisen kunnan osa-alue. Korkeamman kehon painoon suhteutetun aerobisen kunnan on havaittu olevan lapsilla ja nuorilla käänteisesti yhteydessä lihavuuteen ja sydän- ja verisuonisaurauksien riskitekijöihin. (Takken ym. 2017.) Haapala ym. (2018) raportoivat korkeamman  $VO_{2peak}$  -arvon ja  $VO_2$  -arvon ventilaatiokynnyksellä olevan yhteydessä vähäisempään valtimoiden jäykkyyteen 16–19 -vuotiailla nuorilla. Tämä on merkityksellistä, sillä valtimojäykkyyden lisääntyminen on ensimmäisiä merkkejä arterioskleroosista (valtimonkovettumatauti) lapsilla ja nuorilla. Veijalainen ym. (2015) tutkivat hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnan, fyysisen aktiivisuuden ja kehon rasvaprosentin yhteyksiä valtimojäykkyyteen ja valtimoiden laajenemiskapasiteettiin 160 lapselta, jotka olivat iältään 6-8 vuotiaita. Hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa kuvattiin maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä mitatulla huipputeholla (W/kehon rasvaton massa). Heidän löydöstensä mukaan heikko hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto on itsenäisesti yhteydessä lisääntyneeseen valtimoiden jäykkyyteen sekä heikentyneeseen valtimoiden

laajentumiskapasiteettiin riippumatta kehon rasvaprosentista tai omaehtoisen fyysisen aktiivisuuden määrästä. Vähäisempi omaehtoisen fyysisen aktiivisuuden määrä ja suurempi rasvaprosentti olivat myös yhteydessä korkeampaan valtimoiden jäykkyyteen. Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuus linkittyy siis terveyteen myös hyvän kestävyyskunnan kautta, sillä riittävä intensiteetti on keskeisin maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen vaikuttava tekijä. Useissa interventiotutkimuksissa on havaittu, että harjoittelun intensiteetin tulisi olla 85–90 %:n tasolla maksimisykkeestä, jotta  $VO_{2peak}$  -arvo kehittyisi optimaalisesti. (Armstrong & Barker 2011.)

Terveysmuuttujien lisäksi tutkimukset ovat antaneet viitteitä, että fyysisellä aktiivisuudella ja paikallaanololla on yhteyksiä myös lasten oppimiseen ja koulumenestykseen. Haapala ym. (2017b) havaitsivat suuremman MVPA:n määrän ja vähäisemmän paikallaanoloajan olevan yhteydessä parempaan lukutaitoon 1–3. luokkalaisilla pojilla. Toisaalta tytöillä suurempi paikallaanolon määrä oli yhteydessä parempiin matemaattisiin taitoihin. Biologisiksi mekanismeiksi fyysisen aktiivisuuden määrän ja koulumenestyksen välille on ehdotettu tehostunutta hermoimpulssien käsittelyä, suurempaa hippokampuksen kokoa, suurempaa neurotrofisten tekijöiden määrää plasmassa, lisääntynyttä aivojen verenvirtausta ja lisääntynyttä huomiokykyä sekä työmuistia. Lisäksi suuren paikallaanoloajan on ehdotettu alentavan oppimista heikentävän aivo-peräisen neurotrofisen tekijän (*engl. brain-derived neurotrophic factor*) määrää. (Haapala ym. 2017.) Hillmanin ym. (2011) löydösten mukaan fyysinen aktiivisuus näyttösi vaikuttavan aivojen terveyteen ja kognitioon lapsilla johtaen parempiin suorituksiin koulussa sekä aivojen tehokkaaseen toimintaan koko elinkaaren ajan. Fyysinen aktiivisuus saattaa olla yhteydessä aivojen yhtenäisyyteen (*engl. integrity*) ja joustavuuteen (*engl. flexibility*), mikä auttaa havaintojen ja niiden perusteella oikeiden toimenpiteiden tekemisessä. Donnelly ym. (2016) vetivät yhteen vertaisarvioituja artikkeleita ja havaitsivat, että fyysisen aktiivisuus ja fyysisen kunto näyttäisivät olevan positiivisesti yhteydessä koulumenestykseen 5-13 -vuotiailla lapsilla. Tutkijat kuitenkin huomauttavat, että tulokset ovat osittain ristiriitaisia, eikä esimerkiksi sopivaa aktiivisuustyyppiä tai riittävää fyysisen aktiivisuuden määrää, frekvenssiä tai ajoitusta tiedetä.

### 3 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN MITTAAMINEN

Fyysisen aktiivisuuden tarkka mittaaminen ja arvioiminen on tärkeää. Mittaamisen avulla saadaan luotettavaa tietoa fyysisen aktiivisuuden määrästä, pystytään seuraamaan fyysisen aktiivisuuden suositusten toteutumista, lisäämään ymmärrystä fyysisen aktiivisuuden ja terveyden annos-vastesuhteista sekä arvioimaan fyysisen aktiivisuuden lisäämiseen pyrkivien interventioiden vaikuttavuutta. (Sirard & Pate 2001.) Lisäksi energiankulutuksen tarkka arvioiminen on tärkeää, kun tutkitaan ylipainoon ja energiatasapainoon liittyviä tekijöitä (Ridley ym. 2008). Jotta fyysistä aktiivisuutta ja sen vaikutuksia kyetään arvioimaan tarkasti, tarvitaan tarkkoja mittareita, joilla kyetään mittaamaan fyysisen aktiivisuuden määrää tai energiankulutusta normaaleissa päivittäisissä toiminnoissa (Hiilloskorpi ym. 2003).

Fyysisen aktiivisuuden mittaaminen on kiinnostanut tutkijoita aina 1900 -luvun alkupuolelta lähtien. Aluksi merkittävimpänä tavoitteena oli tutkia työn kuormittavuutta ja tämän avulla pyrkiä parantamaan työergonomiaa. Vuosien varrella fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa käytettyjä menetelmiä ovat olleet suora havainnointi, aktiivisuuspäiväkirjat ja kyselylomakkeet, kehon liikkeen mittaaminen eri laitteilla, erilaisten fysiologisten vasteiden mittaaminen sekä aineenvaihdunnan mittaaminen suoralla- ja epäsuoralla kalorimetrialla. (Shephard & Aoyagi 2012.)

Optimaalisessa tilanteessa fyysisen aktiivisuuden mittari kykenisi kaikissa eri tilanteissa havaitsemaan kaikki fyysisen aktiivisuuden ulottuvuudet eli keston, intensiteetin, tyypin ja frekvenssin (Troost & O'Neil 2014). Valitettavasti mikään mittari ei kuitenkaan kykene tällä hetkellä täydellisesti mittaamaan fyysistä aktiivisuutta ja paikallaanoloa. Tutkijoiden tulisikin mittareita valitessaan tietää tarkasti kunkin mittarin vahvuudet ja heikkoudet. (Loprinzi & Cardinal 2011.)

Fyysisen aktiivisuuden mittaamisen ja arvioinnin menetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen selvään pääkategoriaan, subjektiivisiin ja objektiivisiin menetelmiin. Subjektiivisiin menetelmiin lukeutuvat kyselylomakkeet, haastattelut ja aktiivisuuspäiväkirjat. Objektiivisiin menetelmiin puolestaan kuuluvat suora havainnointi ja kaikki fysiologisia tai biomekaanisia muuttujia

mittaavat menetelmät. (Corder & Ekelund 2008, 132.) Suora kalorimetria on kultainen standardimenetelmä (*engl. gold standard*) ihmisen aineenvaihdunnan mittaamiseksi (Kenny ym. 2017). Muita kriteerimenetelmiä (*engl. criterion methods*) fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman energiankulutuksen mittaamiseksi ovat kaksoismerkitty vesi eli DLW -menetelmä ja epäsuora kalorimetria (Corder & Ekelund 2008, 132). Muita fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen käytettyjä objektiivisia menetelmiä ovat esimerkiksi sykkeen mittaaminen ja erilaisten liikettä mittaavien laitteiden, kuten kiihtyvyyss- ja askelmittareiden käyttäminen sekä suora havainnointi (Sirard & Pate 2001). Subjektiiivisten menetelmien heikkoutena on, että tutkittavien sekä tutkijoiden mielipiteet ja käsitykset voivat vaikuttaa tutkimustulokseen. Objektiivisissa mittareissa ei ole tätä ongelmaa, mutta ne ovat puolestaan alttiita erilaisille mittausvirheille. Myös mittareiden paikan sekä aineiston rekisteröinti- ja analysointitavan valinta voivat vaikuttaa lopputulokseen. Esimerkiksi kiihtyvyyssarvoja keskiarvoistettaessa aikaikkunan tulee olla riittävän lyhyt, jotta keskiarvoistaminen ei peitä alle lapsille tyypillisiä lyhyitä liikkumisjaksoja. Lisäksi objektiiviset mittaukset ovat alttiita niin sanotulle hawthorne-ilmiölle, jossa tieto mittaamisesta vaikuttaa tutkittavien käyttäytymiseen. Lapsilla ilmiön on havaittu lisäävän liikkumista erityisesti tutkimuksen ensimmäisen päivän aikana, mutta seuraavina päivinä vaikutus on ollut pientä. (Corder & Ekelund 2008, 131-132.) Mikäli mahdollista, suoria energiankulutusta mittaavia menetelmiä tulisi ensisijaisesti käyttää fyysisen aktiivisuuden tasojen määrittelyssä (Sirard & Pate 2001).

Seuraavissa luvuissa käsitellään ensin tässä tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä, minkä jälkeen yleisimmin käytössä olevia fyysisen aktiivisuuden mittausmenetelmiä.

### **3.1 Kalorimetria**

Kaikki eliöiden sisällä tapahtuvat aineenvaihdunnalliset prosessit tuottavat lämpöä. Eliöt vaihtavat lämpöä jatkuvasti myös ympäristönsä kanssa (Kenny ym. 2017). Myös ihmiskehon kaikki aineenvaihdunnalliset prosessit muuttuvat lopulta lämmöksi. Tämän seurauksena lämmöntuottoa mittaamalla voidaan kuvata koko kehon energia-aineenvaihdunnan määrää. (McArdle ym. 2014, 179.)

Kalorimetrialla tarkoitetaan lämmönsiirtymisen mittaamista (McArdle ym. 2014, 179.). Sana kalorimetria (*engl. calorimetry*) tulee kreikankielen sanoista ”calor” eli lämpö ja ”metrion” eli mitata. Kalorimetrian avulla voidaan mitata energiankulutusta joko suoralla tai epäsuoralla menetelmällä. Yksilön lämmöntuotto on suoraan verrannollinen energiankulutuksen määrään, joten sitä voidaan arvioida mittaamalla kehon lämmöntuottoa, kuten suorassa kalorimetriassa tehdään. Energiankulutusta voidaan arvioida myös mittaamalla energia-aineenvaihdunnan kemiallisia sivutuotteita. Tätä hyödynnetään epäsuorassa kalorimetriassa, jossa energiankulutusta mitataan hengityskaasuihin perustuen. (Kenny ym. 2017.)

### **3.1.1 Suora kalorimetria**

Suorassa kalorimetriassa energiankulutuksen arvioimiseen käytetään kehon aerobisessa ja anaerobisessa aineenvaihdunnassa syntyntä lämpöä mittaamalla lämmönvaihtoa kehon ja ympäristön välillä. Menetelmän perustana on energian säilymisen laki, jonka mukaan eristetyssä systeemissä energian määrä on vakio, mutta se voi muuttua muotoaan. Tätä tapahtuu ihmiskehon systeemissä jatkuvasti. Syömämme ruoan varastointi alkaa kemiallisena energiana, joka varastoidaan makromolekyylien sidoksiin (mm. glykogeeni maksassa ja lihaksissa) ja ATP:na (adenosiinitrifosfaatti). Kun energiantarve lisääntyy fyysisen aktiivisuuden seurauksena, kemiallinen energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi ja lämmöksi. Myös kylmältistuksen aiheuttamien väristysten seurauksena kehon lämmöntuotto kasvaa. Edellä mainittujen ja kaikkien muidenkin kehon aineenvaihdunnallisten prosessien aiheuttamaa lämmöntuoton lisääntymistä kehossa voidaan mitata suoralla kalorimetrialla. (Kenny ym. 2017.)

Suorassa kalorimetriassa tutkittava asetetaan pieneen kammioon, joka on eristetty ympäristöstä. Ollakseen tehokas, kalorimetrian täytyy olla täysin suljettu systeemi. Energiaa ei saa siirtyä kammion ja ympäristön välillä ja kaikki aineenvaihdunnasta johtuva lämmöntuotto tulee kyetä mittaamaan. Yksinkertaisimmillaan kalorimetria mittaavat ainoastaan lämmönpoiston haihtumattomia osia eli säteilyä, johtumista ja lämmön virtaamista. Uusimmat kalorimetrian sovellukset kykenevät mittamaan jatkuvasti sekä haihtuvaa lämmönpoistoa että kuivaa lämmönvaihtoa. Kalorimetrian heikkoutena fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa oli pitkään, ettei sitä voitu



hyödyntää useimpien päivittäisten aktiivisuuksien mittaamiseksi. Myöhemmin tätä varten kehitettiin kuitenkin suuria huonekalorimetrejä, joiden sisällä on mahdollista suorittaa useimpia normaaliin arkeen kuuluvia toimintoja. (Kenny ym. 2017.)

### **3.1.2 Epäsuora kalorimetria**

Epäsuoralla kalorimetrialla voidaan määrittää kehon kokonaisenergiankulutus epäsuorasti hengityskaasuja mittaamalla. Kaikki kehon energiaa vapauttavat reaktiot ovat lopulta riippuvaisia hapenkulutuksesta. (Kenny ym. 2017.) Ruoan energia-arvoja mittaavan pommikalorimetrian avulla on osoitettu, että 1 litralla happea voidaan vapauttaa ruoasta keskimäärin 4,82 kcal energiaa. Vapautuvan energian määrä vaihtelee 2–4 % riippuen makroravinteiden eli hiilihydraatien, proteiinien ja rasvojen osuudesta ruoassa. (McArdle ym. 2014, 179.)

Uusimmat epäsuora kalorimetrian sovellutukset perustuvat hengitysilmaasta mitattujen hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton suhteeseen, joiden perusteella voidaan määrittää hengitysosamäärä (RER). (Schoffelen & Plasqui 2018.) Hengitysosamäärä kuvaa hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton välistä suhdetta. Koska makroravinteet (hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit) tarvitsevat niiden kemiallisten eroavaisuuksiensa vuoksi eri määrän happea hapettuaakseen hiilidioksidiksi ja vedeksi, voidaan RER-arvon perusteella määrittää makroravinteiden osuus energiantuotosta. Hapetettaessa pelkkiä hiilihydraatteja RER-arvo on tasan 1, rasvalle se on 0,696 ja proteiinille 0,818. (McArdle 2014, 186) Lisäksi energiankulutuksen määrittämiseksi sisään- ja uloshengitettyjen kaasujen virtausmäärä (l/min), tulee kyetä mittaamaan tarkasti. Lopulta näiden tietojen perusteella voidaan määrittää hapetettujen ravintoaineiden määrä ja makroravinteiden osuus kokonaismäärästä. (Schoffelen & Plasqui 2018.) Makroravinteiden osuus tulee tietää tarkan energiantuoton määrittämiseksi, sillä ne vapauttavat eri määrän energiaa painoa kohden. Hiilihydraatista saadaan energiaa 4,2 kcal/g, rasvasta 9,4 kcal/g ja proteiinista 5,65 kcal/g. (McArdle ym. 2014, 111.) Energiankulutus lasketaan lopulta hapetettujen ravintoaineiden määrän ja niiden energiatiheyden perusteella. (Schoffelen & Plasqui 2018.)

Epäsuoran kalorimetrian menetelmät voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään, avoimiin ja suljettuihin menetelmiin. Menetelmien erona on se, että avoimessa menetelmässä ollaan

yhteydessä ympäristön ilman kanssa, kun taas suljetussa menetelmässä hengitettävä ilma on eristetty ulkoilmasta. Avoin menetelmä on käytännöllisempi toteuttaa, kun mitataan fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta. (Ainslie ym. 2003.) Myös epäsuoraa kalorimetriaa hyödyntäviä mittalaitteita on monia. Vaikka laitteet ovat mittauseriaateeltaan samanlaisia, mitattavat voivat olla eri tavalla yhteydessä laitteeseen ja hengityskaasujen keräys- ja analysointimenetelmät voivat olla erilaisia. Yleisimmin käytetty hengityskaasujen keräysmenetelmä on maski, joka voidaan asettaa nenän ja suun ympärillä tai ainoastaan suun ympärille, jolloin käytetään nenänsuljinta. Hengityskaasut voidaan kerätä myös käyttämällä pään ympärille asetettavaa kupua tai suljettua tilaa (hengityskammio). (Schoffelen & Plasqui 2018.) Douglas bag -menetelmä on klassinen epäsuoran kalorimetrian menetelmä, jota on käytetty hengityskaasuanalysaattorien validointitutkimuksissa (Rosdahl ym. 2010). Douglas bag- menetelmässä uloshengitetty ilma kerätään nimensä mukaisesti pussiin. Pussissa olevan ilman määrän perusteella lasjetaan minuuttiventilaatio. Pussissa olevasta uloshengitysilmaasta otetun näytteen perusteella määritetään sen happi ja hiilidioksidipitoisuus. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea hapenkulutus, hiilidioksidintuotto ja edelleen energiankulutus. (Ainslie ym. 2003)

Virtaussensoreiden tarkka kalibrointi ennen mittausta on tärkeää. Lisäksi hapen ja hiilidioksidin määrä tulee kyetä mittaamaan tarkasti, mikä vaatii myös niiden mittauksen tarkkaa kalibrointia. Tämä tehdään käyttämällä niin sanottua kalibrointikaasua, jonka happi- ja hiilidioksidipitoisuus tunnetaan (Schoffelen & Plasqui 2018). Kalibroitaessa laitteistoa ilman lämpötila, paine ja kosteus tulee olla sama kuin mittaushetkellä. Hengitysilman kerääjän tulee mahdollistaa normaali hengittäminen, mutta se ei saa päästää hengitysilmaa vuotamaan systeemin ulkopuolelle. (Macfarlane 2017.)

Kannettavat epäsuoraa kalorimetriaa hyödyntävät hengityskaasuanalysaattorit tarjoavat mahdollisuuden mitata energiankulutusta monipuolisesti erilaisissa aktiviteeteissa ja ympäristöissä. Niitä onkin käytetty usein vertailumenetelminä kenttäolosuhteissa tehdyissä tutkimuksissa. Arkipäiväiset toiminnot ovat kuitenkin yleensä jaksoittaisia ja nopeasti muuttuvia, mikä tekee niiden tarkasta mittaamisesta haastavia. Hengityskaasut reagoivat viiveellä lihasaktiivisuuteen verrattuna, mikä tekee nopeat fyysisen aktiivisuuden muutokset vaikeasti havaittaviksi. Kannettavat hengityskaasuanalysaattorit toimivatkin parhaiten, kun fyysinen aktiivisuus jatkuu

pidempään samalla teholla ja energiankulutuksen tasannevaihe (*engl. steady-state*) saavutetaan. Tällöin mitattu hengitysosamäärä vastaa sen hetkistä soluissa vallitsevaa aineenvaihdunnan tilaa. (Macfarlane 2017.)

### **3.2 Kiihtyvyyssmittarit**

Kehon liikkeitä on mahdollista mitata objektiivisesti useilla eri menetelmillä. Tutkimuksissa on käytetty mm. kantaiskuvaiheen kestoa mittaavia elektromekaanisia kytkimiä, nivelten kulmia mittaavia goniometrejä, kehon asentoa mittaavia gyroskooppeja, askeleita mittaavia askelmitareita sekä kehon liikkeitä mittaavia kiihtyvyyssmittareita. (Mathie ym. 2004.)

Kiihtyvyyssmittari on yleinen ja suosittu tapa mitata fyysistä aktiivisuutta. Ensimmäiset kiihtyvyyttä hyödyntävät fyysisen aktiivisuuden mittarit tulivat käyttöön 1980-luvulla. Tekniikan kehittyminen, mittareiden koon pienentyminen ja laitteiden kyky rekisteröidä useita peräkkäisiä päiviä lisäsi niiden suosiota 2000-luvun alkupuolella. (Troiano ym. 2014.) Fyysisen aktiivisuuden määrän mittaamisen lisäksi kiihtyvyyssmittareita on käytetty mm. luokittelemaan liikkeitä sekä tunnistamaan asentoja (Mathie ym. 2004). Kiihtyvyyttä voidaan mitata eri kehonosista lantion, ranteen ja reiden ollessa yleisimpiä mittauspaikkoja tutkimuksissa (Sievänen ja Kujala 2017). Kiihtyvyyssmittarin etuina fyysisen aktiivisuuden mittaamisessa voidaan pitää sitä, että se ei häiritse normaalia liikkumista ja mittarilla voi kerätä tietoa pitkältikin ajanjaksolta yhdellä mittauksella (Stookey ym. 2001).

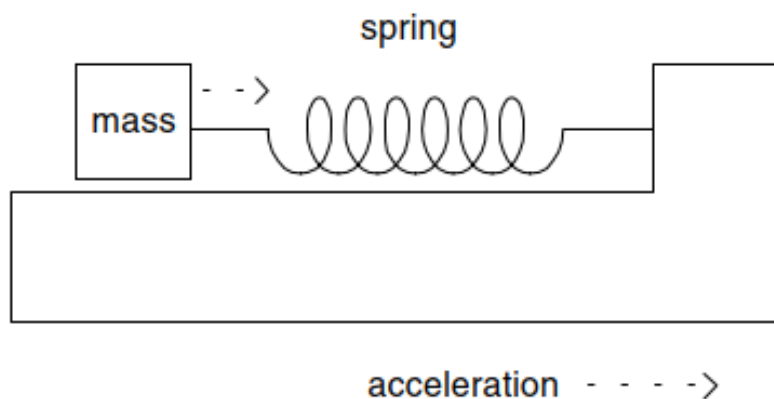
Kiihtyvyyssmittauksessa on myös omat haasteensa. Kiihtyvyyssmittarit tunnistavat liikkeen ainoastaan, kun tuotettu voima on pienempi tai suurempi kuin liikettä vastustava voima. Tasaisella liikuttaessa asia on yksinkertainen, sillä lähes ainoa liikettä vastustava voima on maan vetovoima. Jos vastustava voima puolestaan on ilmanvastus kuten pyöräilyssä, vedenvastus kuten soudussa tai kitka kuten hiihdossa, on voimantuoton tai energiankulutuksen arvioiminen kiihtyvyyteen perustuen haastavaa. Kiihtyvyyssmittari ei myöskään tunnista staattisia suorituksia, jolloin tuotettu ja vastustava voima ovat yhtä suuria, mutta voimien suunta on vastakkainen ja ne kumoavat toisensa. (Vähä-Ypyä ym. 2015a.) Kiihtyvyyssmittarit tunnistavat huonosti aktiviteetteja, jotka sisältävät muiden kuin mittarillisen kehon osan liikkeitä tai liikkumista ylä- ja

alamäkeen. Lisäksi useiden kaupallisten mittareiden antamien aktiivisuuslukujen (*engl. count*) muuttaminen energiankulutukseksi voi tuottaa lisävirhettä tulokseen. (Sirard & Pate 2001.) Lantiolta mitattaessa kiihtyvyyssmittari soveltuu parhaiten eri nopeuksilla suoritettun kävelyn tai juoksun mittaamiseen (Vähä-Ypyä ym. 2015a).

### 3.2.1 Mittaustekniikka

Kiihtyvyyssmittarien toiminta perustuu niiden kykyyn tunnistaa kehon liikkeiden aiheuttamia kiihtyvyyksiä. Kiihtyvyydellä tarkoitetaan nopeuden muutosta suhteessa aikaan. Kiihtyvyyssmittarilla on mahdollisuus mitata fyysisen aktiivisuuden frekvenssiä, intensiteettiä ja kestoja. (Hills ym. 2014.) Mittarit voivat tunnistaa eteen-taakse (anteroposteriorinen), sivuttain (mediolateraalinen) tai ylös-alas (vertikaalinen) suuntautuvaa liikettä. Kiihtyvyys esitetään usein putoamiskiihtyvyytenä, jonka yksikkötunnus on G. 1 G vastaa kiihtyvyyttä  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Kiihtyvyys on suoraan verrannollinen tuotettujen voimien määrän kanssa, joten se on suuremmin yhteydessä energiankulutukseen kuin pelkkä liikkeen nopeus. (Chen & Bassett 2005.)

Vaikka mittaustekniikat voivatkin hieman vaihdella mittareiden välillä, perustuu kaikkien mittareiden toiminta pohjimmiltaan jousi-massasysteemiin (kuva 4). Useimpien kiihtyvyyssmittareiden mittaustekniikka perustuu yhteen tai useampaan pietsosähköiseen anturiin, jotka tunnistavat kiihtyvyyksiä yhdestä kolmeen eri suuntaan. Anturit kykenevät tunnistamaan sekä liikkeestä että painovoimasta aiheutuvat kiihtyvyyden (Mathie ym. 2004). Pietsosähköinen anturi koostuu pietsosähköisestä osasta sekä kotelon sisällä olevasta seismisestä massasta. Kiihtyvyyden tapahtuessa seismisen massan liikkuminen aiheuttaa muutoksia pietsosähköisen osan rakenteessa, mikä johtaa jännitteen muutokseen pietsosähköisessä osassa. Tämä jännitesignaalin muutos rekisteröidään jatkokäsittelyä varten. Jännitesignaalin muutoksen suuruus on suoraan verrannollinen kiihtyvyyden suuruuden kanssa. Mittarin herkkyys mitata kiihtyvyyksiä eri suunnissa on riippuvainen seismisen massan geometriasta, jäykkyydestä ja sen sijainnista kotelossa. (Chen & Bassett 2005.)



KUVA 4. Jousi-massasysteemin toimintaperiaate pietsosähköistä tekniikkaa käyttävässä kiihtyvyydmittarissa (Mathie ym. 2004.)

### 3.2.2 Mittarin asetukset ja mittauspaikka

Näytteenottotaajuus (*engl. sampling frequency*) kertoo, kuinka tiheästi laite kerää tietoa kiihtyvyyksistä. Nyquistin kriteerin mukaan keräystaajuuden tulisi olla vähintään kaksi kertaa suurempi kuin liikkeen aiheuttamassa signaalissa esiintyvä suurin taajuus. (Chen & Bassett 2005.) Eri mittareiden tarjoamat mittaustaajuudet vaihtelevat yleisesti 20–100 Hz:n välillä (Sievänen & Kujala 2017). Tiedetään, että suurin osa ihmisen liikkeistä tapahtuu taajuuksilla 0,3–3,5 Hz. Liikkeiden taajuudet laskevat yleisesti nilkasta päähän kohti mentäessä. Taajuudet ovat suurimmillaan vertikaalisuunnassa. (Mathie ym. 2004.)

Mitatun kiihtyvyyden suuruus riippuu suoritetusta liikkeestä ja kehonosasta, josta kiihtyvyyttä mitataan. Yleisesti ottaen kiihtyvyydet lisääntyvät päästä nilkkaa kohti mentäessä ja ovat suurimmillaan vertikaalisuunnassa. Juokseminen tuottaa 4 G:n kiihtyvyyden päähän, 5 G:n kiihtyvyyden alaselkään ja 8,1–12 G:n kiihtyvyyden nilkkaan. (Mathie ym. 2004.) Yleensä mittarit mittaavat  $\pm 2$ – $\pm 16$  G:n kiihtyvyyksiä (Sievänen & Kujala 2017).

Mittarin mittaama kiihtyvyydata voi sisältää kehon liikkeistä johtuvien kiihtyvyyksien lisäksi esimerkiksi pehmytkudoksen liikkeestä tai moottoriajoneuvon aiheuttamasta värinästä johtuvia kiihtyvyyksiä. Näitä muusta kuin varsinaisesta kehon liikuttamisesta johtuvia kiihtyvyyksiä

voidaan vähentää mittarin huolellisella asettamisella sekä kiihtyvyyssignaalin suodattamisella. (Mathie ym. 2004.)

Kiihtyvyyssmittari voidaan kiinnittää useaan eri kehonosaan. Useimmiten tutkimuksissa käytetyt paikat ovat olleet lantio, ranne ja reisi. Koko kehon liikettä mitattaessa mittareita voi olla käytössä yksi tai vaihtoehtoisesti useampi mittari eri kehonosissa. Eri kehonosista mitattu kiihtyvyydata eroaa kuitenkin merkittävästi toisistaan, eikä näin ollen ole suoraan verrattavissa keskenään. (Mathie ym. 2004; Sievänen & Kujala 2017.) Lantiolta kiihtyvyyttä mitattaessa heikkoutena ovat energiankulutuksen aliarviointi liikkeissä ja toiminnoissa, joissa lantion alueella tapahtuu vähän tai ei olleenkaan liikettä. Lisäksi pidemmissä mittauksissa dataa usein menetetään, kun mittari joudutaan riisumaan mm. pukeutumisen, peseytymisen, vesiliikunnan ja nukkumisen ajaksi. (Hildebrand ym. 2014.)

### **3.2.3 Kiihtyvyyssignaalin käsittely**

Aineiston keräämisen jälkeen kiihtyvyydalle tehdään kaistanpäästösuodatus. Kaistanpäästösuodatuksessa analyysiin jätetään ennalta määrättyllä taajuudella kerätyt signaalit ja poistetaan signaalit, jotka ovat valittua taajuutta korkeampia tai matalampia. Kaistanpäästösuodatuksen tarkoituksena on poistaa häiriösignaaleja, joita saattavat aiheuttaa laitteiston vanheneminen, lämpötilamuutokset tai muualta tulevat sähköiset signaalit. Suodatuksella pyritään korostamaan kehon liikkeen tuottaman signaalin osuutta datassa. (Chen & Bassett 2005.)

Suodatettu ja useimmissa tapauksissa myös vahvistettu kiihtyvyyssmittarin jännitesignaali muutetaan digitaalisiksi numeroiksi niin sanotussa analogia/digitaali -muunnoksessa. Tämän jälkeen signaali tasasuunataan. Tasasuuntaus voidaan toteuttaa kääntämällä negatiiviset arvot positiivisiksi tai vaihtoehtoisesti huomioimalla vain positiiviset arvot. Tämän jälkeen yksittäiset kiihtyvyyсарvot keskiarvoistetaan tietyissä aikaikkunoissa (epoch). (Chen & Bassett 2005.)

Useat kaupalliset kiihtyvyyssmittarit raportoivat tulokset aktiivisuuslukuina minuutissa (counts/min). Aktiivisuusluvun on määritelty olevan yleinen fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä kuvaava kiihtyvyyсарvoihin perustuva muuttuja. Usein on kuitenkin epäselvää, mitä tämä

aktiivisuusluku todellisuudessa fyysisesti tai fysiologisesti tarkoittaa. (Chen & Bassett 2005.) Fyysisen aktiivisuuden intensiteettitasot määritetään tyypillisesti aktiivisuuslukuihin perustuvien laitekohtaisten intensiteettirajojen mukaan. Algoritmit aktiivisuuslukujen ja intensiteettitasojen määrittämiseksi vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri laitteiden välillä. Tulosten vertailtavuuden parantamiseksi eri laitteilla tehtyjen mittausten välillä, analyysissä on alettu käyttää raakaa kiihtyvyyssignaalia ilman niiden muuttamista aktiivisuusluvuiksi. (Aittasalo ym. 2015.) Pelkän raan kiihtyvyyssignaalin käyttö ei kuitenkaan vielä takaa täydellistä vertailtavuutta eri laitteiden ja tutkimusten välillä. Raakasignaalia käyttävät tutkimukset eroavat edelleen signaalin käsittelytavoiltaan, jolloin samat ongelmat säilyvät kuin aktiivisuuslukuja käytettäessä. (De Almeida Mendes 2018.)

Raakasignaalin käsittelyynkin on olemassa monenlaisia menetelmiä. Raakasignaalia hyödynnettävissä kalibrointitutkimuksissa yleisin tapa muokata signaalia on yhdistää eri suuntaiset kiihtyvyyssignaalit yhdeksi kokonaiskiihtyvyyttä kuvaavaksi vektorisignaaliksi (*engl. SVM, signal vector magnitude*). Kolmiakselisen kiihtyvyyssmittarin signaalit yhdistetään kaavalla  $SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ , jossa x, y ja z ovat vertikaalisessa, horisontaalisessa ja anteroposteriorisessa suunnassa tapahtuvia kiihtyvyyksiä kussakin mittauspisteessä. (De Almeida Mendes 2018.)

Yksi tapa esittää kiihtyvyydataa on MAD-arvo (*engl. mean amplitude deviation*). Se kuvaa datapisteiden keskimääräistä etäisyyttä niiden keskiarvosta tietyllä mittausjaksolla. MAD lasketaan kaavalla  $\frac{1}{n} \sum |r_i - r|$ , jossa n on näytteiden määrä valitussa aikaikkunassa,  $r_i$  on vektorisignaali tietyssä mittauspisteessä ja r= keskiarvoinen vektorisignaali valitussa aikaikkunassa (epoch). Tulos ilmoitetaan suoraan putoamiskiihtyvyytenä (G tai mG) ilman laitekohtaisten algoritmien käyttöä. MAD-arvoa onkin suositeltu käytettävän fyysisen aktiivisuuden intensiteettitasoja määritettäessä. (Aittasalo ym. 2015.)

MAD-arvot näyttäisivät olevan vertailukelpoisia intensiteettitasojen luokittelussa eri mittareiden välillä ainakin kävelyssä ja juoksussa. Vähä-Ypyä ym. (2015b) vertailivat kolmen eri lantion mittaavan kolmiakselisen kiihtyvyyssmittarin (Actigraph GTX3, GulfCoast X6-1A ja Hookie AM13) antamia arvoja aikuisilla yhteensä kymmenessä eri tehtävässä. Tehtävät sisälsivät viisi paikallaanoloa vaativaa (makaaminen, istuminen, työskentely tietokoneella istuen,

seisominen, 1 kg:n painoisen esineen siirtely pöydän pintaa pitkin) ja viisi tyypillistä normaalielämän toimintoa (hidas kävely, normaali kävely, reipas kävely, hölkkääminen ja juokseminen. Eri mittareiden antamissa MAD-arvoissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa näissä tehtävissä. Lisäksi kiihtyvyyssarvot korreloivat vahvasti sykkeen kanssa, mikä viittaisi myös hyvään kykyyn ennustaa energiankulutusta. (Vähä-Ypyä ym. 2015b.)

### 3.3 Muut menetelmät

#### 3.3.1 DLW- menetelmä

DLW-menetelmä on isotooppeihin perustuva menetelmä, jolla kokonaisenergiankulutusta voidaan tutkia normaalissa elinympäristössä ilman laboratorion asettamia rajoitteita (McArdle ym. 2014, 184–185). Menetelmässä tutkittavalle annetaan vettä, joka sisältää tiedetyn määrän stabiileja vedyn ja hapen ei-radioaktiivisia isotooppeja  $^2\text{H}$  ja  $^{18}\text{O}$ . Veden seassa saadut isotoopit sekoittuvat kehon omien vety- ja happiatomien kanssa muutamassa tunnissa. Energiantuotossa syntyvä hiilidioksidi poistetaan elimistöstä hengityksen välityksellä ja vesi hengityksen, virtsan, hien ja muun haihtumisen kautta. Koska isotooppia  $^{18}\text{O}$  on sekä hiilidioksidissa että vedessä, poistuu sitä kehosta nopeammin kuin  $^2\text{H}$  isotooppia, jota on ainoastaan vedessä. Kehosta poistuneiden  $^{18}\text{O}$  ja  $^2\text{H}$  isotooppien suhteesta voidaan määrittää tutkimuksen aikana tuotetun hiilidioksidin määrä. (Ainslie ym. 2003.) Vertailuarvoina isotooppien määrän muutosta tarkasteltaessa käytetään ennen tutkimusta syljestä tai virtsasta mitattuja  $^2\text{H}$ - ja  $^{18}\text{O}$ - isotooppien määrää. Tämän jälkeen isotooppien määrää mitataan sylki tai virtsanäytteestä heti kaksoismerkityn veden nauttimisen jälkeen sekä päivittäin tai viikoittain tutkimuksen kestosta riippuen. Hiilidioksidin määrää voidaan käyttää energiankulutuksen määrittämiseen käyttämällä keskimääräistä RER-arvoa 0,85 (McArdle ym. 2014, 184–185). Hapenkulutuksen huomioiminen ja hengitysosamäärän laskeminen tekee määrittämisestä entistä luotettavamman. Hengitysosamäärää voidaan arvioida ruokapäiväkirjaan perustuen tai mitata hyödyntämällä epäsuoran kalorimetrian menetelmiä. (Ainslie ym. 2003.)

Vaikka DLW -menetelmä on tarkin menetelmä mittaamaan energiankulutusta normaalissa elinympäristössä, on sen käytössä kuitenkin omat rajoitteensa.  $^{18}\text{O}$  isotooppi on arvokasta ja



erityisosaamista tarvitaan isotooppien konsentraatioiden analysoinnissa massaspektrometrillä. Lisäksi menetelmällä kyetään mittaamaan vain noin 4–21 päivän jaksoja. Koska menetelmällä ei kyettä mittaamaan hapenkulutusta eikä näin ollen tarkasti määrittämään hengitysosamäärää, on energiankulutuksen määrässä aina jonkin verran virhettä (noin 5 %). (Ainslie ym. 2003) Vaikka DLW -menetelmällä kyetään mittaamaan tarkasti fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus tutkittavien normaalissa arjessa, sen avulla ei kyettä tunnistamaan fyysisen aktiivisuuden käyttäytymismalleja, esimerkiksi eri kuormitustasoilla suoritettujen aktiivisuuksien osuuksia kokonaisaktiivisuudesta (Trost 2007).

### **3.3.2 Sydämen syketaajuus**

Sydämen sykkeen mittaaminen on yleinen ja suosittu keino mitata fyysistä aktiivisuutta. Mitareiden käyttö on nykyään helppoa, ne ovat suhteellisen halpoja ja niihin voi tallentaa useiden päivien mittaustulokset. Sykkeen käyttö fyysisen aktiivisuuden arvioinnissa perustuu sykkeen ja energiankulutuksen lineaariseen suhteeseen kuormituksen muuttuessa harjoittelun aikana. (Trost & O'Neil 2014.) Muutokset sykkeessä korreloivat suorituksen kuormittavuuden muuttumisen kanssa. Suhteellinen syke tietylle kuormitukselle voidaan laskea vertaamalla kuormituksen aiheuttamaa sykettä lepo- ja maksimisykkeeseen. Sykettä voidaan näin käyttää optimaalisen kuormituksen suunnittelussa. (Karvonen & Vuorimaa 1988.) Åstrand & Ryhming esittelivät jo vuonna 1954 hyödyntävän nomogrammin, jonka avulla hapenkulutus kyettiin määrittämään sykkeen ja kuormituksen perusteella (Åstrand & Ryhming 1954).

Sykkeen käyttäminen fyysisen aktiivisuuden määrittämisessä ei ole kuitenkaan aivan ongelmattonta. Ongelmat ja epätarkkuudet liittyvät sykkeen yksilölliseen käyttäytymiseen riippuen tutkittavan iästä, kehon koostumuksesta, lihassmassan määrästä, sydän- ja verenkiertoelimistön kunnosta sekä psyykkisistä tekijöistä. Kaikki edellä mainitut seikat vaikuttavat sykkeen ja hapenkulutus suhteeseen, joiden oletetaan useissa malleissa käyttäytyvän lineaarisesti. Sykkeen mittausta tapahtuu myös pienellä viiveellä todelliseen liikkumiseen nähden, mikä saattaa peittää alleen nopeasti tapahtuvia muutoksia liikkumisen intensiteetissä. Tämä on ongelmallista etenkin tutkittaessa lapsia, johtuen heille tyypillisestä satunnaisesta ja jaksottaisesta liikkumisesta (Stookey ym. 2011). Sykkeen on havaittu käyttäytyvän epälineaarisesti suhteessa

energiankulutukseen erityisesti matalilla suoritustehoilla. Koska suurella osaa ihmisistä päivä koostuu pääasiassa hyvin matalatehoisesta fyysisestä aktiivisuudesta, ei sykkeen avulla välttämättä kyetä mittamaan tarkasti päivän kokonaisaktiivisuutta. Erilaisilla tekniikoilla, kuten henkilökohtaisen leposykkeen huomioimisella ja yksilöllisillä syke-hapenkulutus kalibroinneilla, on pyritty vähentämään ongelmia sykkeen käytössä fyysisen aktiivisuuden mittarina. (Trost & O'Neil 2014.)

Eston ym. (1998) tutkivat fyysistä aktiivisuutta 30:ltä 8–10- vuotiaalta lapselta erilaisissa päivittäisissä aktiviteeteissa. Mitattavia aktiviteetteja olivat kävely (4 ja 6 km/h) ja juoksu (8 ja 10 km/h) juoksumatolla, pallon kopittelu, ruutuhyppely sekä piirtäminen istuen. Hapenkulutus mitattiin kannetavan hengityskaasuanalysaattorin avulla ja ilmoitettiin muodossa ml/(kg<sup>0.75</sup>). Heidän löydöstensä mukaan syke korreloi hapenkulutuksen kanssa kaikissa mitatuissa tehtävissä (p<0,001). Korrelaatio sykkeen ja mitatun hapenkulutuksen välillä olivat kaikissa aktiviteeteissa 0,799, juoksumatolla tehdyissä aktiviteeteissa 0,784 sekä hyppelyssä, kopittelussa ja piirtämisessä 0,858. (Eston ym. 1998.) Myös Garcia-Prieto ym. (2017) tutkivat samaa aihealuetta 9–11 -vuotiailla lapsilla 30 eri pelissä ja leikissä. Tutkittavina oli 32 lasta, joista 12 oli poikia ja 20 tyttöä. Energiankulutus mitattiin kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla ja syke rekisteröitiin käyttämällä sykevyötä. Sykkeen ja mitatun energiankulutuksen korrelaatio oli 0,71 (p=0,032) kestävyyspeleissä ja 0,48 (p=0,026) voimapeleissä. Syke näyttäisi olevan käyttökelpoinen energiankulutuksen ennustajana kestävyystyypillisissä peleissä, mutta tarkkuus heikkenee voimatyypillisissä leikeissä. Syke korreloi kuitenkin mitatun energiankulutuksen kanssa kiihtyvyyksmittaria (Actigraph GT1M, kaksiakselinen) paremmin sekä kestävyyspeleissä (r=0,71, p=0,032 vs. r=0,48, p=0,026) kuin myös voimapeleissä (r=0,48, p=0,026 vs. r=0,21, p=0,574). Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää sitä, ettei siinä tarkasteltu hyvin matala tai kovatehoisia suorituksia, joissa sykkeen käyttämisen on todettu olevan epälineaarista suhteessa energiankulutukseen. (Garcia-Prieto ym. 2017)

Tikkanen ym. (2014) huomasivat sykkeen käytön ongelmat matalilla tehoilla, kun he mittasivat yhtä aikaa sykettä ja energiankulutusta aikuisilla. Syke ennusti parhaiten (r=0,96) energiankulutusta juoksumatolla toteutetussa juoksussa ja kävelyssä, kun he vertasivat sitä EMG-housuilla (r=0,94) ja kiihtyvyyksmittarilla (r=0,77) kerättyyn aineistoon. Sykkeen ennustustarkkuus oli

kuitenkin selvästi heikompi ( $r=0,89$ ) matalilla kävelynopeuksilla (alle 6 km/h), verrattuna kovempiin kävelynopeuksiin tai juoksuun. Ennustavuutta mitattiin korrelaationa hengityskaasuanalysaattorilla mitattuun energiankulutukseen nähden. Sykkeeseen vaikuttavat tekijät, kuten tunteet, ruokailu ennen suoritusta, kehon asento, työskentelevät lihasryhmät ja ilman lämpötila voivat tutkijoiden mukaan olla selittäviä tekijöitä alhaisemmalle korrelaatiolle matalilla intensiteeteillä työskenneltäessä.

Mittaustarkkuuden lisäämiseksi on pyritty kehittämään erilaisia yksilöllisiä malleja kuvaamaan sykkeen ja energiankulutuksen suhdetta. Haskell ym. (1993) havaitsivat, että energiankulutuksen arvioiminen on tarkempaa, kun käytetään yksilöllistä syke-hapenkulutus regressiosuoraa ja syke- ja kiihtyvyydataa yhdessä verrattuna pelkän absoluuttisen sykearvon käyttöön.

Yksi tapa kalibroida sykemittausta on käyttää ns. HR-FLEX-menetelmää, jossa henkilökohtainen sykkeen ja hapenkulutuksen suhde mitataan ennen varsinaisen fyysisen aktiivisuuden seurannan alkua. HR-FLEX menetelmän keskeisenä tarkoituksena on poistaa epätarkkuuksia matalilla sykearvoilla. Käytännössä tämä toteutetaan määrittämällä sykkeelle raja-arvo levon ja harjoituksen välille. Raja-arvo on yleisesti laskettu kohtaan, joka on paikallaanoloa vaativista aktiivisuuksista (makaaminen, istuminen, seisominen) mitattujen korkeimpien sykkeiden keskiarvo ja muista mitatuista aktiviteeteista rekisteröidyn matalimman sykkeen keskiarvo. Kun syke menee alle tämän raja-arvon, käytetään energiankulutuksen arvioinnissa yksilöllisiä lepoaineenvaihdunnan arvoja. Kun raja ylittyy, käytetään kalibroituvaiheessa määritettyä yksilöllistä regressiota sykkeen ja energiankulutuksen välillä. Määrittäminen tapahtuu sykkeen ja energiankulutuksen yhtäaikaisella mittaamisella. (Livingstone ym. 1992; Livingstone ym. 2000)

### **3.3.3 Suora havainnointi**

Fyysisen aktiivisuuden observointiin eli havainnointiin on käytössä useita erilaisia havainnointityökaluja. Osa työkaluista on suunniteltu pelkästään liikuntatuntien havainnointiin, mutta käytössä on myös havaintotyökaluja, jotka soveltuvat monenlaisiin eri tilanteisiin. (Sirard & Pate 2001.) Havainnointi sisältää tyypillisesti lapsen fyysisen aktiivisuuden havainnointia kotona tai

koulussa. Fyysisen aktiivisuuden taso rekisteröidään yleensä intervaleissa, jotka ovat kestoltaan viidestä sekunnista yhteen minuuttiin. Havainnot kirjataan suoraan tietokoneelle tai mittauslomakkeeseen. (Trost 2007.)

Havainnoinnin etuna muihin menetelmiin verrattuna on, että sen avulla kyetään fyysisen aktiivisuuden määrän lisäksi rekisteröimään fyysiseen aktiivisuuteen yhteydessä olevia käyttäytymiseen ja ympäristöön liittyviä tekijöitä. Näin ollen sitä voidaan käyttää työkaluna sekä prosessin että lopputuloksen tarkastelemiseen. (Trost ym. 2007.) Havainnointi soveltuu hyvin tutkitavan asennon sekä fyysisen aktiivisuuden tyyppin, keston ja toteuttamispaikan arvioimiseen. Toisaalta se ei subjektiivisuutensa vuoksi sovellu fyysisen aktiivisuuden intensiteetin arviointiin. (Corder & Ekelund 2008, 135.) Suora havainnointi on myös melko työläs toteuttaa ja sillä voi olla reaktiivinen vaikutus tutkittaviin lapsiin, mikä voi muuttaa lasten käytöstä. (Sirard & Pate 2001). Koska tutkijan täytyy koko ajan seurata tapahtumia, ei menetelmä sovellu fyysisen aktiivisuuden tutkimiseen normaalissa arkielämässä (Corder & Ekelund 2008, 135). Kun suoraa havainnointia on verrattu mitattuun sykkeeseen ja hapenkulutukseen, ovat korrelaatiokertoimet olleet 0,61–0,91 väliltä (Sirard & Pate 2001). Tutkijoiden välisen toistettavuuden on todettu olevan myös hyvällä tasolla yhtäpitävyysprosenttien ollessa 84 % ja 99 % väliltä (Trost 2007).

### **3.3.4 Haastattelut, kyselyt ja päiväkirjat**

Useat fyysisen aktiivisuuden arviointimenetelmät perustuvat itsearviointiin. Näitä menetelmiä on käytetty laajalti myös lapsilla. (Trost 2007.) Näitä tyypillisesti haastatteluihin, kyselyihin ja päiväkirjoihin perustuvia mittausmenetelmiä käytetään usein epidemiologisissa tutkimuksissa, joissa tutkittavina on iso joukko ihmisiä (Loprinzi & Cardinal 2011).

Itsearviointiin perustuvat menetelmät ovat suhteellisen helppoja ja halpoja toteuttaa. Lisäksi niiden avulla kyetään saamaan tietoa fyysisen aktiivisuuden tyypeistä ja kontekstista isolta joukolta ihmisiä kerralla. Menetelmien heikkouksina voidaan pitää niihin liittyviä tulkinnallisia tekijöitä, tarvetta muistella asioita jälkikäteen, sekä sosiaalisen toivottavuuden harhaa. Lapsille ominainen jaksoittainen ja nopeasti vaihteleva tapa liikkua tekee sen arvioinnista jälkepäin

erityisen hankalaa. (Loprinzi & Cardinal 2011.) Erityisen hankalaa on subjektiivisesti määrittellä ja luokitella fyysisen aktiivisuuden intensiteettiä. Tästä aiheutuu suurta vaihtelua yksilöiden välillä energiankulutuksen arvioinnissa tapahtuvan virheen määrässä (Corder & Ekelund 2008, 135). Lasten on yleisestikin erityisen vaikea arvioida omaa liikkumisen määrää jälkeensä. Erityisen hankalaa tämän on todettu olevan alle 10 -vuotiailla lapsilla. (Trost 2007.) Alle 10 -vuotiailla lapsilla tehtyjen tutkimuksien tulisi perustua objektiivisiin fyysisen aktiivisuuden mittausmenetelmiin. On tyypillistä, että lapset yliarvioivat fyysisen aktiivisuuden keston ja intensiteetin. Itsearviointimenetelmien avulla toteutetuissa lapsille suunnatuissa tutkimuksissa validiteettikerroin on yleisesti ollut 0,03–0,88 ja reliabiliteettikerroin 0,56–0,93. (Loprinzi & Cardinal 2011.)

## 4 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN KUORMITTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN

Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuudella tai intensiteetillä (*engl. intensity*) tarkoitetaan fysiologista panostusta, joka tarvitaan aktiviteetista suoriutumiseen. Suorituksen kuormittavuutta voidaan kuvata absoluuttisesti tai suhteutettuna yksilöllisiin ominaisuuksiin. Tyypillisesti fyysisen aktiivisuuden kuormittavuus on esitetty lepoaineenvaihdunnan kerrannaisena eli MET-arvona. (Corder & Ekelund 2008, 130.) Kokonaiskuormittumista tai kuormituksen määrää (*engl. volume*) pidemmältä ajanjaksolta voidaan kuvata myös energiankulutuksena aikayksikköä kohden (esim. kcal/päivä) sekä minuutteina tai tietyn pituisten jaksojen määränä, jotka on vietetty kullakin fyysisen aktiivisuuden rasitustasolla (kevyt, kohtalaisen rasittava ja rasittava) (Troost 2007). Kuormituksen kokonaismäärään kuvaamiseen on käytettyjä myös yksiköitä MET-minuutti (MET-min) ja MET-tunti (MET-hours), jotka lasketaan kertomalla fyysisen aktiivisuuden intensiteetti MET-arvona aktiivisuuteen käytetyllä ajalla. Kokonaiskuormittumista laskettaessa otetaan huomioon fyysisen aktiivisuuden kuormittavuus, kesto ja frekvenssi. (Howley 2001.) Tässä työssä kuormittavuudella tai intensiteetillä tarkoitetaan fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa suoraa fysiologista vastetta. Kuormittavuuden määritelmä sisällä fyysisen aktiivisuuden kestoja tai frekvenssiä.

### 4.1 Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhde

Kiihtyvyyssmittari mittaa kehon liikettä ja kiihtyvyyssarvot ovat biomekaaninen muuttuja. Energiankulutus puolestaan on fysiologinen muuttuja, minkä johdosta muuttujan suhteuttaminen toisiinsa nähden ei ole aina ongelmattonta. Erityisen ongelmallista se on lapsilla ja nuorilla, joiden kasvu ja kehitys vaikuttavat muuttujien suhteeseen. (Freedson ym. 2005.)

Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhdetta on tutkittu lapsilla laajalti niin laboratorio kuin kenttäolosuhteissa. Yleisimmin kiihtyvyyssmittarin perusteella määritettyjä energiankulutuksen arvoja on näissä tutkimuksissa verrattu epäsuoralla kalorimetrialalla tai DLW-

menetelmällä mitattuun energiankulutuksen arvoon. Seuraavaksi esitellään tutkimuksia, joissa on tarkasteltu kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välistä yhteyttä lapsilla.

#### 4.1.1 Laboratoriotutkimukset

Eston ym. (1998) havaitsivat, että yksittäisistä mittareista kiihtyvyydsmittari korreloi parhaiten hapenkulutuksen kanssa, kun he tutkivat 8–10 -vuotiaita lapsia päivittäisissä aktiviteeteissa. Vertailtavina olivat sykemittari, kiihtyvyydsmittari ja askelmittari. Aktiviteetteina olivat kävely (4 ja 6 km/h) ja juoksu (8 ja 10 km/h) juoksumatolla, jalkapallon heittäminen avustajan kanssa (etäisyys 3 m), ruutuhypely sekä piirtäminen istuen. Kaikki mittarit korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0.001$ ) hapenkulutuksen kanssa mitatuissa aktiviteeteissa. Korrelaatio hapenkulutuksen ja kiihtyvyyden välillä oli 0,908 kaikille aktiviteeteille sekä 0,883 kun huomioitiin vain juoksumatolla tehdyt aktiviteetit. Kun huomioon otettiin vain jalkapallon heittäminen, ruutuhypely ja piirtäminen, korrelaatio oli 0,926. Lineaarisen regression avulla lasketun ennuste-kaavan mukaan kiihtyvyydet selittävät 82,5 % hapenkulutuksen muutoksista. Hapenkulutuksen määrä eri tehtävissä ilmoitettiin muodossa  $\text{ml}/(\text{kg}^{0.75})/\text{min}$ . (Eston ym. 1998.)

Puyau ym. (2002) totesivat kahden mittarin CSA:n (Computer Science & Applications, ActiGraph Shalimar, FL, USA) ja MM:n (Mini-Mitter Actiwatch, Mini-Mitter Co., Bend, OR, USA) ennustavan luotettavasti fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta 6–16 vuotiailla lapsilla ja nuorilla. Molemmilla mittareilla mitattiin kiihtyvyyttä sekä lantiolta että säärestä polven alapuolelta. CSA mittaa kiihtyvyyttä ainoastaan vertikaalisuunnassa, MM puolestaan kaikissa suunnissa. Aktiviteetit sisälsivät pelikonsolilla pelaamista istuen, piirtämistä ja maalaamista, aerobisia harjoitteita, liikkeitä taistelulajeista (Tae Bo), juoksumatolla kävelyä ja juoksua sekä jalkapallon potkimista. Korrelaatiot suhteessa mitattuun energiankulutukseen olivat lantiolta mitattaessa MM:llä 0,78 ( $\pm 0,06$ ) ja CSA:lla 0,66 ( $\pm 0,08$ ). Säärestä mitattuna vastaavat korrelaatiot olivat MM:llä 0,80 ( $\pm 0,05$ ) ja CSA:lla 0,73 ( $\pm 0,07$ ).

Puyau ym. (2004) tutkivat myös Actiwatchin ja Acticalin (Mini-Mitter Co. Inc., Bend, OR, USA) kykyä arvioida energiankulutusta, kun tutkittavina oli 7–18 vuotiaita lapsia ja nuoria. Tutkimus sisälsi neljän tunnin mittauksen kalorimetriahuoneessa sekä tunnin

laboratoriomittauksen. Laboratoriossa energiankulutuksen mittaamiseen käytettiin kannettavaa hengityskaasuanalysointilaitetta. Laboratoriossa mitattuja tehtäviä olivat pelikonsolilla pelaaminen, tietokoneen käyttäminen, siivoaminen, aerobisten harjoitteiden suorittaminen, pallon heittäminen sekä kävely ja juoksu juoksumatolla. Myös lepoenergiankulutus mitattiin. He laskivat aktiivisen energiankulutuksen (AEE, energiankulutus aktiviteetissa-lepoenergiankulutus) ja suhteellisen energiankulutuksen (PAR, energiankulutus aktiviteetissa/lepoenergiankulutuksella). Molemmat kiihtyvyyssmittarit (Actiwatch ja Actical) korreloivat hyvin niin absoluuttisen energiankulutuksen ( $r=0,88, 0,87$ ), aktiivisen energiankulutuksen ( $r= 0,82, 0,85$ ) kuin suhteellisen energiankulutuksenkin ( $r= 0,85, 0,87$ ) kanssa.

Corder ym. (2007) tutkivat Actigraphin (Actigraph LLC, Pensacola, FL, USA) ja epäsuoralla kalorimetrialla mitatun energiankulutuksen suhdetta 145:ltä 12-vuotiaalta lapselta, kun tehtävinä oli makaamista, istumista, kävelyä, hölkkää ja ruutuhyppelyä. Fyysisen aktiivisuuden energiankulutus laskettiin ennustekaavalla, joka huomioi kiihtyvyyssarvot sekä tutkittavan pituuden ( $PAEE ((J/kg)/min) = 0,1 \times ACC_{MTI} (counts/min) -2,29 \times pituus [cm] + 353$ ) Heidän löydönsä mukaan kiihtyvyyssarvojen perusteella ennustettu fyysisen aktiivisuuden energiankulutus selittää merkittävän osan mitatusta energiankulutuksesta ( $R^2=0,87$ ).

Zhu ym. (2013) puolestaan tutkivat kiihtyvyyden ja energiankulutuksen suhdetta peräti 331:ltä 9–17 vuotiaalta kiinalaislapselta ja -nuorelta. He käyttivät kiihtyvyyden mittaamisen lantiolle kiinnitettyä Actigraphin GT3X (ActiGraph, Pensacola, FL, USA) kiihtyvyyssmittaria. Energiakulutusta mitattiin Cosmed K4b<sup>2</sup>-hengityskaasuanalysointilaitteella (Cosmed, Rooma, Italia). Lepoenergiankulutuksen lisäksi he mittasivat energiankulutusta ja kiihtyvyyttä eri kävely- ja juoksunopeuksilla juoksumatolla (3, 4, 5, 6, 7, ja 8 km/h), voimistelusta ja pöytätennis harjoituksesta. Kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välillä oli kohtalaisen korkea korrelaatio ( $r=0,758, p<0,01$ )

Ryan ja Gormley (2013) tutkivat RT3 kiihtyvyyssmittarin (Stayhealthy Inc., Monrovia, CA, USA) kykyä mitata energiankulutusta levossa sekä juoksumatolla suoritetuissa kävelyssä ja juoksussa. Kiihtyvyyssarvoja mitattiin hengityskaasuanalysointilaitteella mitattuihin energiankulutuksen arvoihin. Tutkimukseen osallistui 22 lasta, joiden keski-ikä oli 11,5( $\pm 3$ ) vuotta.



Kävelynopeudet olivat 3 ja 6 km/h ja juoksunopeutena 9 km/h. Lisäksi 6 km/h nopeus suoritettiin kertaalleen ylämäkeen 10 %:n kallistuskulmalla. Jokaista nopeutta suoritettiin satunnaistettussa järjestyksessä 5 minuuttia, jonka jälkeen pidettiin 5 minuutin tauko istuen ennen seuraavaa suoritusta. Kiihtyvyysarvot korreloivat mitatun energiankulutuksen kanssa tilastollisesti merkitsevästi levossa sekä jokaisella kävely ja juoksunopeudella. Keskimääräiset korrelaatiokertoimet olivat 0,67–0,85 välillä. Kiihtyvyys korreloi energiankulutuksen kanssa heikoimmin ( $r=0,67$ ), kun nopeus oli 6 km/h. Yllättävää oli, että korrelaatio oli sama, kun tutkittavat kävelivät samalla nopeudella ylämäkeen. Korkein korrelaatio ( $r=0,85$ ) saavutettiin 3 km/h kävelynopeudella. Yksilötasolla variaatio oli huomattavasti suurempaa 95 %:n luottamusvälin alaja ylärajan asettuessa kaikissa tehtävissä 0,35:n ja 0,94:n väliin. (Ryan & Gormley 2013.) Myös Vanhelst ym. (2010) totesivat RT3 mittarin korreloivan merkitsevästi epäsuoralla kalorimetrialla mitatun hapenkulutuksen kanssa ( $r=0,87$ ,  $p<0,001$ ), kun tutkittavina oli 10–16 vuotiaita lapsia ja nuoria. Tehtävinä oli makaamista, istumista, tietokoneella pelaamista, seisomista, pallon potkimista, kävelyä ja juoksua. Myös Rowlands ym. (2004) tutkivat RT3:n pätevyyttä mitata fyysistä aktiivisuutta 19:ltä pojalta, jotka olivat iältään noin 9 -vuotiaita ( $9,5 \pm 0,8$ ). Lisäksi tutkimuksessa käytettiin Tritract- kiihtyvyysmittaria. Hengityskaasujen mittaamiseen käytettiin douglas bag -menetelmää ja hapenkulutus esitettiin muodossa  $\text{ml/kg}^{0,75}/\text{min}$ . Korrelaatiokerroimet kiihtyvyysarvojen ja energiankulutuksen välillä oli 0,87 ( $p < 0,01$ ) RT3:lle ja 0,87 ( $p < 0,01$ ) Tritactille, kun tehtävinä oli juoksua ja kävelyä juoksumatolla neljällä eri nopeudella (4, 6, 8 ja 10 km/h), ruutuhyppelyä, pallon potkimista sekä istumista.

MAD-arvojen ja energiankulutuksen välistä yhteyttä on toistaiseksi tutkittu vain vähän. Vähäyppä ym. (2015a) havaitsivat lantiolta mitattujen MAD-arvojen korreloivan hyvin mitatun energiankulutuksen kanssa aikuisilla kävelyssä ja juoksussa. Mittaus tehtiin jatkuvana suorituksena valojäniksen ohjaamana. Aloitusnopeus oli 0,6 m/s ja nopeus kasvoi aina 2,5 minuutin välein 0,4 m/s. Tutkittavat saivat itse valita, millä nopeudella vaihtoivat kävelyn juoksuksi. Keskimääräinen korrelaatiokerroin oli juoksulle ja kävelyllä 0,975, vain kävelyllä 0,995 ja vain juoksulle 0,976. MAD-arvot kasvoivat myös suhteessa vauhdin lisääntymiseen ( $r= 0,969$ ). Tutkijoiden mukaan MAD-arvoja käyttämällä kyetään luotettavasti arvioimaan fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta monilla eri kävely- ja juoksunopeuksilla. Tutkijat arvelivat, että

parempi korrelaatio kiihtyvyyden ja kävelyn kuin kiihtyvyyden ja juoksun välillä johtui suuremmista yksilöllisistä eroista juoksussa kävelyyn verrattuna. Energiankulutukseen juoksussa vaikuttaa esimerkiksi elastisen energian hyödyntäminen, mikä tekee eroja yksilöiden välille. (Vähä-Ypyä ym. 2015a.)

Tutkimuksien perusteella näyttää siltä, että lantiolta mitatut kiihtyvyysarvot korreloivat hyvin mitatun energiankulutuksen kanssa lapsilla, kun sitä on tutkittu laboratorio-olosuhteissa erilaisissa aktiviteeteissa.

#### **4.1.2 Tutkimukset kenttäolosuhteissa**

Fyysistä aktiivisuutta ei normaalissa tutkimustilanteessa tehdä laboratorio-olosuhteissa, vaan mittareiden tulisi kyetä mittaamaan luotettavasti lasten normaalissa elinympäristössä ja normaaleissa päivittäisissä toiminnoissa. Kiihtyvyydsmittarin kykyä ennustaa fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta on tutkittu laboratorio-olosuhteiden lisäksi myös lasten normaalissa elinympäristössä. Lasten normaalissa elinympäristössä toteutetuissa tutkimuksissa energiankulutuksen mittaamiseen on usein käytetty DLW -menetelmää, mikä mahdollistaa useiden peräkkäisten päivien yhtäjaksoisen mittaamisen.

Sardinha & Judice (2017) tekivät yhteenvedon lapsilla tehdyistä tutkimuksista, joissa energiankulutusta on arvioitu kiihtyvyysarvoihin perustuen ja verrattu samanaikaisesti DLW- menetelmällä mitattuun energiankulutukseen. Heidän löydöstensä mukaan eri mittareiden ennustuskyvyssä on suuria vaihteluita, mikä voi johtua niiden erilaisista algoritmeista. Korrelaatiokertoimet ennustetun ja DLW-menetelmällä mitatun energiankulutuksen välillä olivat 0,17–0,85 väliltä, mediaaniksi tuli 0,37. Pelkkä kiihtyvyydsmittarin informaatio selitti 14 % DLW -menetelmällä mitatun AEE:n varianssista ja 33 % kokonaisenergiankulutuksen varianssista.

Ekelund ym. (2001) mittasivat kiihtyvyyttä ja energiankulutusta 26:lta lapselta (ikä  $9,6 \pm 0,3$ ) kahden viikon ajan. Kiihtyvyyttä mitattiin joustavalla vyöllä selkään kiinnitetyllä mittarilla (CSA, the computer Science and Applications`s). Energiankulutuksen mittaamiseen käytettiin DLW-menetelmää. Tulosten mukaan kiihtyvyydet korreloivat merkitsevästi TEE:n ( $r=0,39$ ,

$p < 0.05$ ), AEE:n ( $r = 0,54$ ,  $p < 0.01$ ) ja PAL:n (fyysisen aktiivisuuden taso) ( $r = 0,58$ ,  $p < 0.01$ ) kanssa. Regressioanalyysi osoitti, että kiihtyvyyssmittarin antamien aktiivisuuslukujen selitysaste (determinaatiokerroin) energiankulutukselle oli 0,54–0,60.

Kiihtyvyyssmittarit näyttäisivät olevan validi menetelmä mittamaan kokonaisenergiankulutusta, mutta mittarin ja analyysi-ikkunan pituuden valinta sekä valittu ennustemalli vaikuttavat lopputulokseen. Mikään menetelmä ei toimi optimaalisesti kaikissa tilanteissa. Kiihtyvyyssmittarit tyypillisesti aliarvioivat kokonaisenergiankulutusta, koska ne eivät kykene tunnistamaan esimerkiksi ylämäestä, kassien kantamisesta tai pyöräilystä aiheutuvaa lisääntynyttä energiankulutusta. (Sardinha & Judice 2017.)

## **4.2 Kuormittavuuden absoluuttinen määrittäminen**

### **4.2.1 Kuormittavuuden määrittäminen energiankulutuksen perustuen**

Kokonaisenergiankulutus (*engl. TEE, total energy expenditure*) koostuu kolmesta eri osa-alueesta perusaineenvaihdunnasta (*engl. BSM, basal metabolic rate*), ruoan termisen efektin aiheuttamaan energiankulutukseen (*engl. diet-induced energy expenditure*) sekä fyysisen aktiivisuuden aiheuttamasta energiankulutuksesta (*engl. AEE, energy cost of physical activity*). (McArdle ym. 2014, 192; Westerterp 2013.) Energiankulutus ilmoitetaan useimmiten yksikkönä kilokalori (kcal), mikä vastaa energiaa, joka vaaditaan yhden kilogramman vesimäärän lämpötilan nostamiseen yhdellä asteella. Joskus yksikkönä käytetään myös työtä ja energiaa kuvaavaa joulea (J). 1 Joule vastaa työtä tai energiamäärää, joka tarvitaan siirtämään kappaletta 1 Newtonin voimalla metrin matkan. 1 kcal vastaa 4,184 Joulea. Elimistö tarvitsee 5 kilokalorin energiamäärän vapauttamiseen ruoasta noin 1 litran happea. Tämän perusteella energiankulutus voidaan muuttaa hapenkulutukseksi ja päinvastoin. (McArdle ym. 2014, 110–111, 200.)

Absoluuttinen kuormittavuus kuvaa fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman energiankulutuksen todellista määrää. Yleisiä tapoja kuvata absoluuttista intensiteettiä ovat hapenkulutus (L/min), hapenkulutus suhteutettuna kehon massaan (ml/kg/min), kcal tai kJ/minuutissa ja lepoaineenvaihdunnan kerrannainen (MET). (Howley 2001.) Yksikköä MET on yleisesti käytetty yksikkö kuvaamaan fyysisen aktiivisuuden absoluuttisia intensiteettitasoja ja aktiivisuuden aiheuttamaa energiankulutusta erilaisissa aktiviteeteissa. MET-arvo kuvaa aktiivisuuden aiheuttamaa energiankulutuksen lisäystä lepoenergiankulutukseen verrattuna. 1 MET vastaa noin 250 ml/min lepo­hapenkulutusta keskikokoisella miehellä ja noin 200 ml/min lepo­hapenkulutusta keskikokoisella naisella. (McArdle ym. 2014, 200.) Yleisesti käytetyssä MET:n määritelmässä on otettu huomioon myös kehon paino, jolloin 1 MET vastaa hapenkulutusta 3,5 ml/kg/min. Ener­giankulutuksena ilmoitettuna 1 MET on 1 kcal/kg/h. Tämän on määritelty kuvaavan lepoai­neenvaihduntaa hiljaa istuttaessa. (Ainsworth ym. 2000.) Kevyen fyysisen aktiivisuuden on määritetty olevan energiankulutukseltaan 1,5 – <3 MET, kohtuukuormitteisen 3 – <6 MET ja rasittavan >6 MET. (Saint-Maurice ym. 2016.)

Perinteisen MET-arvon määritelmän (1 MET= 3,5 ml/kg/min) ja aikuisille tarkoitettujen fyysi­sen aktiivisuuden intensiteettirajojen käytön on havaittu aliarvioivan energiankulutusta eri ak­tiiviteeteissa. Tämän on arvioitu olevan yhteydessä lasten korkeampaan lepoenergiankulutuk­seen. (Roemmich ym. 2000; Harrell ym. 2005). Harrell ym. (2005) mm. havaitsivat lepoener­giankulutuksen olevan 8–18 -vuotiailla lapsilla ja nuorilla 1,2–1,8 MET. Heidän mittauksissaan lepo­hapenkulutus oli iästä riippuen 4,00-5,92 ml/kg/min.

Saint-Maurice ym. (2016) tutkivat epäsuoran kalorimetrian avulla energiankulutusta 7–13 vuo­ti­ailla lapsilla kuormittavuudeltaan eritasoisissa suorituksissa ja tarkastelivat perinteisten fyy­si­sen aktiivisuuden intensiteettirajojen toimivuutta lapsilla. Tutkijat havaitsivat, että liikkumat­tomuuden ja kevyen aktiivisuuden perinteinen raja-arvo eli 2 MET:iä (lepoaineenvaihdunnan kerrannainen) ylittyi lapsilla kaikissa mitatuissa paikallaanoloa vaativissa tehtävissä. Korkeam­man energiankulutuksen eritehtävissä on ajateltu johtuvan suuremmasta lepoaineenvaihdun­nasta. MET-arvon laskeminen yksilöllisesti arvioidulla lepoaineenvaihdunnan määrällä nosti­kin paikallaanoloajan tunnistamisen kohtalaiselle tasolle (kappa-arvo 0,56), kun se oli aikuisten

MET-arvolla 2 heikko (kappa-arvo 0,47) ja arvolla 1,5 huono (kappa-arvo 0,07). Lau ym. (2016) puolestaan raportoivat 10–17 vuotiaiden paikallaanoloitehtävistä MET-arvoja 1,2–1,6, kun MET-arvot määritettiin käyttämällä mitattuja lepoenergiankulutuservoja. Keskimääräinen mitattu hapenkulutus levossa oli 3,67 ml/kg/min, mikä vastaa energiankulutusta 1,3 kcal/min. Keskimääräinen energiankulutus eri paikallaanoloa vaativissa tehtävissä oli 1,85 kcal/min ja hapenkulutus 5,9 ml/kg/min. Suurin energiankulutus saavutettiin videopelaamisessa (2,14 kcal/min) ja pienin tietokoneella kirjoitettaessa (1,71 kcal/min). Onkin suositeltu, että lapsille käytetään kohtuukuormitteisen aktiivisuuden rajana arvoa 4 MET (Ridely & Olds 2008). Myös MET-arvoja 5–8 on ehdotettu kohtuukuormitteisen aktiivisuuden raja-arvoiksi nuorille (Corder & Ekelund 2008, 130).

Energiankulutus voidaan esittää monin eri tavoin. McMurray ym. (2015) vertailivat eri tapoja esittää energiankulutusta terveillä lapsilla. Tutkimuksessa oli mukana 947 lasta ja nuorta, jotka olivat iältään 5–18-vuotiaita. Vertailtavina olivat absoluuttinen hapenkulutus (ml/min), nettohapenkulutus (hapenkulutus aktiiviteetissa–hapenkulutus levossa), allometrisesti skaalattu hapenkulutus ( $\text{ml}/(\text{kg}^{0,75})/\text{min}$ ) ja ”nuorten-MET” (hapenkulutus/hapenkulutus levossa). Heidän tulosten mukaan yksikään laskutavoista ei täydellisesti poistanut iän, fyysisten muuttujien ja sukupuolen vaikutusta. Myös heidän mukaansa aikuisten MET -arvon käyttö yliarvioi energiankulutusta. Allometrisesti skaalattu hapenkulutus ja nuorten-MET olivat vähiten yhteyksissä ikään, sukupuoleen ja fyysisiin ominaisuuksiin. Nuorten-MET oli parempi paikallaanoloa vaativissa tehtävissä ja kevyissä aktiviteeteissa, kun taas allometrisesti skaalattu hapenkulutus oli paras kuvaamaan MVPA aktiviteeteissa. Löydösten perusteella tutkijat suosittelivat mitattua tai arvioitua lepoenergiankulutusta hyödyntävän MET-arvon käyttöä (hapenkulutus aktiiviteetissa/hapenkulutus levossa)

Energiankulutuksen määrittämisen apuvälineeksi on julkaistu taulukko eri aktiivisuuksien energiankulutuksista MET-arvoina ilmoitettuna. Taulukko on yhteenveto eri tutkimuksista saaduista tiedoista. Ainsworth ym. (2000) julkaisi aikuisille suunnatun yhteenvedon, minkä pohjalta Ridley ym. (2008) tekivät saman 6–17,9-vuotiaille lapsille ja nuorille. Fyysisen aktiivisuuden intensiteettitaulukko on kuitenkin saanut kritiikkiä mm. siitä, että sen kasaamiseen on käytetty pienen otoskoon tutkimuksia ja vain rajoitettu määrä aktiivisuuksia on mitattu. Lisäksi

taulukko antaa saman vakio MET-arvon iästä riippumatta kaikille 5–17 -vuotiaille lapsille. Yleisesti taulukoiden ongelmana on, että ne kuvaavat intensiteettiä vain yleisellä tasolla, eivätkä kykene tarkasti arvioimaan yksilöllistä rasitusta tietyssä aktiviteetissa. Useat taulukon esittämät aktiviteetit voidaan myös suorittaa eri intensiteetillä, jolloin taulukon arvo ei tietenkään kykene kuvaamaan kaikkia eri tilanteita. (Butte ym. 2018.) Butte ym. (2018) julkaisivat uuden eri aktiivisuuksien kuormittavuutta kuvaavan taulukon lapsille. Tässä taulukossa MET-arvot on suhteutettu laskettuun yksilölliseen lepoenergiankulutukseen ja arvot oli annettu jokaiselle tehtävälle ikäryhmittäin (6–9, 10–12, 13–15 ja 16–18 –vuotiaat).

#### **4.2.2 Kuormittavuuden määrittäminen kiihtyvyyssarvoihin perustuen**

Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden arvioimiseksi kiihtyvyyssarvot täytyy muuttaa joksikin biologiseksi tai käyttäytymistä kuvaavaksi muuttujaksi. Biologinen muuttuja on yleisesti ollut energian- tai hapenkulutus. (Freedson 2005.) Tämä tapahtuu niin sanotussa kalibroinnissa, missä kiihtyvyyttä mitataan yhtäaikaisesti laboratorio- tai kenttäolosuhteissa fyysisen aktiivisuuden mittauksen standardimenetelmän (suora havainnointi, DLW, kalorimetria) kanssa. Vertailumenetelmän avulla mitatun energiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen perusteella voidaan luoda raja-arvot, jotka erottelevat eri intensiteettitasot toisistaan. (de Graauw ym. 2010; Romanzini 2012.)

Kirjallisuudessa on kuvattu useita erilaisia ennustemalleja lapsille ja nuorille, joilla on pyritty määrittämään fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta kiihtyvyyssarvoihin perustuen. Näihin malleihin on joissain tapauksissa lisätty kiihtyvyyssarvojen lisäksi antropometrisia mittoja ja sykearvoja niiden tarkkuuden lisäämiseksi. Lisäksi fyysisen aktiivisuutta luokittelevia raja-arvoja on luotu useissa eri tutkimuksissa käyttäen eri mittareita, mittareiden asetuksia, tutkimusasetelmia ja tutkittavia. Myös signaalin käsittelyssä on käytetty erilaisia menetelmiä. Fyysisen aktiivisuuden intensiteettiluokkien rajoja on luotu niin laitekohtaisille aktiivisuusluvuille kuin suoraan raakasignaalista johdetuilla G-arvoille. (de Graauw ym. 2010; Romanzini 2012.)

De Graauw ym. (2010) vetivät yhteen artikkeleita, joissa kiihtyvyyssarvoja energiankulutukseksi (AEE) muuntavia ennustemalleja vertailtiin DLW-menetelmällä tai epäsuoralla

kalorimetrialla mitatun energiankulutuksen kanssa. Tutkittavat olivat terveitä 6–18 -vuotiaita lapsia ja nuoria. Tarkasteluun päätyi lopulta 9 artikkelia, jotka sisälsivät 28 erilaista ennustemallia. Tutkimuksissa oli käytetty kuutta eri kiihtyvyyssmittaria. Artikkeleista kaksi oli tehty normaalissa arjessa käyttämällä DLW- menetelmää referenssinä, ja loput seitsemän laboratoriossa epäsuora kalorimetria referenssinä. Yhteenveto osoitti, että kiihtyvyyssarvoihin perustuvat ennustemallit voivat selittää parhaimmillaan 91 % mitatusta AEE:sta laboratorio-olosuhteissa ja 45 % normaalissa arjessa mitattuna. Parhaiten ennustekaavat toimivat laboratoriossa (selitysaste > 90 %), kun kaavaan sisällytettiin myös sykearvot tai kolmiakselisen mittarin kiihtyvyyssarvoja käytettiin yhdessä kehon painon kanssa.

Romanzini ym. (2012) puolestaan vetivät yhteen 19 tutkimusartikkelia, joissa oli määritelty intensiteettiluokkien rajat 2–18 vuotiaille lapsille ja nuorille. Kriteerinä oli, että epäsuoraa kalorimetriaa tai suoraa observointia oli käytetty referenssimenetelmänä. Yleisimmin tutkimuksissa käytetyt mittarit olivat Actigraph (Actigraph LCC, Pensacola, FL, USA), RT3 (Stayhealthy Inc., Monrovia, CA, USA) ja Actical (Mini-Mitter Co. Inc., Bend, Or, USA). Tutkimuksia, jotka käyttivät näitä mittareita ja koehenkilöinä oli vähintään kouluikäisiä lapsia ja nuoria oli yhteensä 12. Aktiivisuuslukuina kuvatut rajat paikallaanololle vaihtelivat näissä tutkimuksissa Actigraphilla 100–800 counts/min, RT3:lla 40–420 ja Acticalilla 44–100 counts/min. Vastaavat arvot kohtuukuormitteiselle aktiivisuudelle olivat 1900–3600, 950–1860 ja 1500–2030 counts/min ja rasittavalle aktiivisuudelle 3370–5020, 2330–4110 ja 2880–6500 counts/min. Kirjoittajien mukaan raja-arvot näyttäisivät luokittelevan fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden lapsilla hyvällä tai vähintään kohtalaisella tarkkuudella verrattuna epäsuoraan kalorimetriaan ja suoraan observointiin. Parhaiten kiihtyvyyssmittarilla kyetään arvioimaan kävelyä ja juoksua. Sen sijaan luokittelu on heikompaa, kun toiminnassa yhdistyy liikkumisen lisäksi muita elementtejä esimerkiksi koripallon kuljettaminen sekä pallon heittäminen ja kiinni ottaminen. Tämä johtuu siitä, että useimmat mittareista mittaavat tarkimmin liikkeitä, joissa pääasiainen liikesuunta on vertikaalinen. Lisäksi mittarit eivät kykene mittaamaan tarkasti tehtäviä, jotka sisältävät muiden kehonosien liikkeitä kuin sen, johon mittari on sijoitettu. (Romanzini ym. 2012.)

Tyypillisesti intensiteettirajojen luomiseen ja niiden testaamiseen on käytetty menetelmää, jossa tietyt tehtävät on ensin luokiteltu intensiteetiltään paikallaanoloiksi tai kevyeksi, kohtuukuormitteiseksi tai rasittavaksi fyysiseksi aktiivisuudeksi. Tämän jälkeen tehtävissä mitattujen kiihtyvyyssarvojen perusteella luodaan uusia intensiteettirajoja tai testataan jo kehitettyjen rajojen toimivuutta. Intensiteettirajojen toimivuuteen on usein tutkittu ROC -käyrän (*engl. receiver operating characteristic -curve*) avulla. Käyrän avulla voidaan todeta rajojen herkkyys (*engl. sensitivity*) ja tarkkuus (*engl. specificity*) luokitella erilaisten tehtävien intensiteettiä. (Evenson 2008; Sirad ym. 2005.) Esimerkiksi Vanhelst ym. (2010) tutkivat RT3 kiihtyvyyssmittarin kykyä erotella intensiteettiluokkia 10-16 -vuotiailla lapsilla ja nuorilla. He määrittivät paikallaanoloiksi makaamisen sängyllä, videopelien pelaamisen ja kirjan lukemisen. Kevyttä aktiivisuutta kuvaivat sisäleikit, jalkapallon potkaiseminen ja kävely 1,5 km/h. Kohtuukuormitteista fyysistä aktiivisuutta oli rauhallinen kävely (3 ja 4 km/h) ja reipasta fyysistä aktiivisuutta juoksu 6 km/h. Näiden etukäteen määriteltujen aktiviteettien mukaan he määrittivät sopivat kiihtyvyyden raja-arvot eri intensiteettiluokkien välille. Epäsuoraa kalorimetriaa on monesti tutkimuksissa mitattu samanaikaisesti kiihtyvyyden kanssa, mutta intensiteettejä ei ole suoraan verrattu siihen (Evenson 2008; Vanhelst ym. 2010). Esimerkiksi Vanhelst ym. (2010) tutkivat ainoastaan kiihtyvyyden ja hapenkulutuksen välistä korrelaatiota, mutta eivät käyttäneet sitä intensiteettirajojen määrittämiseen.

Toinen tapa intensiteettiluokkien raja-arvojen luomiseen jakaa aktiviteetit intensiteettiluokkiin mitatun energiankulutuksen mukaan. Esimerkiksi Phillips ym. (2013) luokittelivat aktiviteetit neljään intensiteettiluokkaan MET -arvojen mukaan: Paikallaanolo <1,5 MET, kevyt fyysinen aktiivisuus 1,5-2,99 METs, kohtuukuormitteinen fyysinen aktiivisuus 3-5,99 ja rasittava fyysinen aktiivisuus  $\geq 6,1$  MET:n määriteltiin olevan hapenkulutuksena 5,92 ml/kg/min. Raja-arvot määritettiin tämän jälkeen ROC -käyrän avulla mitatun kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen perusteella. MET-arvon määritelmä ja intensiteettiluokkien erottavat MET-arvot ovat kuitenkin vaihdelleet kalibrointitutkimusten välillä. Esimerkiksi Freedson ym. (2005) määrittivät 1 MET:n olevan hapenkulutuksena 3.8 ml/kg/min ja intensiteettiluokkien rajojen olevan 3, 6, 9 MET:n kohdalla.



Sen lisäksi, että raja-arvojen validointi tehdään suhteessa referenssimenetelmään (*engl. criterion validity*) intensiteettirajat tulisi aina testata myös eri tutkittavilla ja erilaisissa tehtävissä ennen niiden käyttöönottoa niin sanotussa ristiinvalidoinnissa (*engl. cross-validity*). Tälle on tarvetta, sillä kiihtyvyydestä johdettujen energiankulutusta ennustavien kaavojen tarkkuus näyttäisivät olevan enemmän kiinni tutkimuksessa käytetyistä aktiviteeteista kuin tutkittavien ominaisuuksista. (Corder ym. 2007; Romanzini 2012.) ROC-käyrän lisäksi raja-arvojen validiteetin arviointiin käytettyjä menetelmiä ovat hajonnan tarkastelu Bland-Altmanin kuviosta, prosentuaalinen yhtäpitävyys (*engl. procentual agreement*), Cohenin kappa (k) sisä- (*engl. intraclass*), Pearsonin tulomomentti- ja Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa (Romanzini ym. 2012).

Laitekohtaisia analyysimenetelmiä käyttävästä aktiivisuuslukuihin perustuvasta luokittelusta ollaan kuitenkin pyrkimässä eroon raja-arvojen yhtenäistämiseksi eri laitteiden välillä. Hyvän vertailtavuutensa vuoksi on alettu kehittämään raakasignaaleja hyödyntäviä fyysisen aktiivisuuden intensiteettiluokkien raja-arvoja G-arvoina ilmaistuna. Tavoitteena olisi, että näitä raakadataa hyödyntäviä raja-arvoja kyettäisiin käyttämään mittarin merkistä riippumatta. Raja-arvojen vertailtavuutta heikentää kuitenkin edelleen moninaiset käytännöt raakasignaalin käsittelyssä sekä erilaisten tilastollisten menetelmien käyttö raja-arvojen määrittämiseksi (De Almeida Mendes ym. 2018). Taulukkoon 2 on kerätty tutkimuksia, joissa on luotu raja-arvoja käyttäen lapsilta lantiolta mitattua kiihtyvyyden raakasignaalia.

MAD-arvoa ja fyysisen aktiivisuuden luokittelua on toistaiseksi tarkasteltu vain muutamassa tutkimuksessa. Aittasalo ym. (2015) mittasivat kiihtyvyyttä sekä sykearvot 13–15 -vuotiailta tutkittavilta (10 tyttöä ja 10 poikaa) fyysiseltä kuormittavuudeltaan eritasoisissa aktiviteeteissa ja määrittivät näiden perusteella intensiteettitasojen raja-arvot. Kiihtyvyyssarvot mitattiin kahdella kiihtyvyyssmittarilla (Actigraph GTX3, Actigraph LCC, Pensacola, FL, USA ja Hookie AM13, Traxmeet Ltd. Espoo, Suomi). Mitatut tehtävät olivat makaaminen sängyllä, istuminen tuolilla, istuminen tietokoneella työskennellen, seisominen, seisominen liikuttaen 1 kg:n käsipainoa pöydällä paikallaanolo), hidas ja normaali kävely (kevyt), reipas kävely (kohtuukuoritteinen) sekä hölkkä ja juoksu (rasittava) Pienimmät kiihtyvyyssarvot olivat makaamisen aikana (3mG) ja suurimmat saavutettiin juoksussa (1609 mG). Hookie antoi suurempia kiihtyvyyssarvoja, minkä seurauksena tutkijat määrittivät molemmille mittareille omat raja-arvonsa.

Keveyen aktiivisuuden raja-arvot olivat 29 mG ja 27 mG, kohtuukuormitteisen 338 mG ja 330 mG ja rasittavan 604 mG ja 558 mG.

TAULUKKO 2. Yhteenveto lapsille ja nuorille laadituista fyysisen aktiivisuuden intensiteetti-tasojen raja-arvoista raakasignaalia käyttävistä tutkimuksista, joissa kiihtyvyys on mitattu lantiolta (mukailtu De Almeida Mendes ym. 2018).

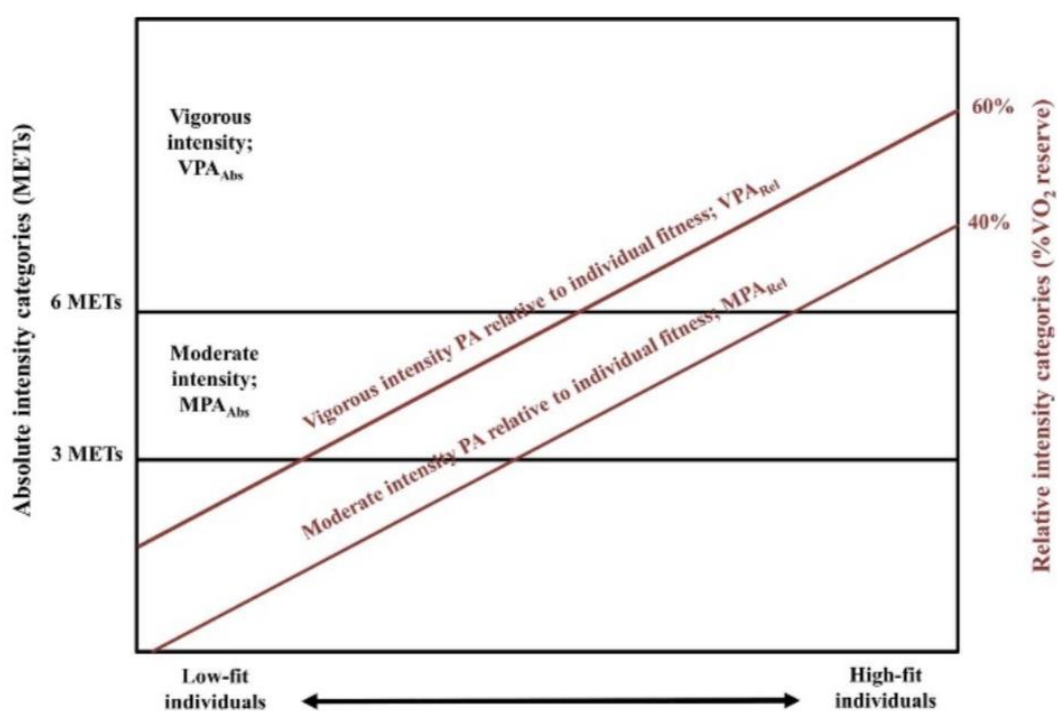
Tutkimus	Tutkittavat	Kiihtyvyyssmittari	Laskukaava vekto- risignaaliille	Intensiteetti	Raja-arvo	tilastolli- nen me- netelmä
Phillips ym. 2013	N=44 8–14 v	GENEA	$\sum  x^2+y^2 + z^2 - g $	<1,5 METs 1,6-2,9 METs 3-5,9 METs ≥ 6 METs	< 3G 3–16 G 17–51 G > 51 G	ROC- käyrä
Hildebrand ym. 2014	N=30 7- v	GENE-Activ	$SVM = \sum x^2+y^2 + z^2 - g$	< 3 METs 3-5,9 METs ≥ 6 METs	<152,8 mG 152,8–514,3 mG >514,3 mG	regres- siomalli
Hildebrand ym. 2014	N=30 7–11 v	Acti-graph GT3X	$SVM = \sum x^2+y^2 + z^2 - g$	< 3 METs 3-5,9 METs ≥ 6 METs	<142,6 mG 142,6–464,6 mG > 464,6 mG	regres- siomalli
Hildebrand ym. 2017	N=30 7–11 v	GENE-Active	ENMO**	≤ 1,5 METs	64,1 mG	ROC- käyrä
Hildebrand ym. 2017		Acti-graph GT3X	ENMO**	≤ 1,5 METs	63,3 mG	ROC- käyrä
Aittasalo ym. 2015	N=20 13–15 v	AG	SVM-SVMmean (MAD)	paikallaanolo kevyt  kohtuukuormitteinen rasittava	< 26,9 mG 26,9–331,9 mG 332,0–558,2 mG > 558,2 mG	regres- siomalli
Aittasalo ym. 2015*	N=20 13–15 v	Hookie	SVM-SVMmean (MAD)	paikallaanolo kevyt  kohtuukuormitteinen rasittava	< 28,7 mG 28,7–337,9 mG 338,0–603,7 mG >603,7 mG	regres- siomalli

\*\*Euclidian norm minus one (ENMO);  $(x^2 + y^2 + z^2) - 1$ , minkä jälkeen negatiiviset arvot pyöristetään nolllaksi

\*Ei epäsuoraa kalorimetriaa referenssinä

### 4.3 Kuormittavuuden suhteellinen määrittäminen kestävyyskuntoon perustuen

Fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta voidaan arvioida absoluuttisesti käyttämällä esimerkiksi energiankulutuksen arvoja sellaisenaan tai käyttämällä yksilöllisiin ominaisuuksiin suhteutettuja arvoja. Kestävyyskunnoltaan eritasoiset henkilöt kokevat hyvin erilaiset vasteet fyysiselle aktiivisuudelle, vaikka he liikkuvat samalla absoluuttisella intensiteettitasolla (kuva 5). Tutkijat ovat huomioineet tämän ja kuormittavuutta onkin pyritty suhteuttamaan erilaisiin yksilöllisiin fysiologisiin vasteisiin. (Howley 2001.)



KUVA 5. Kestävyyskunnan vaikutus yksilölliseen kuormitukseen (Kujala ym. 2017).

Kun kuormittavuutta on tarkasteltu suhteessa kestävyyskuntoon, on se yleisimmin suhteutettu yksilön maksimisykkeeseen tai maksimaaliseen hapenottookykyyn. Tällöin suorituksen kuormittavuus ilmoitetaan tavallisesti prosentteina sykereservistä tai hapenottokyvyn reservistä. (Wolpern ym. 2015.) Nuoret liikkuvat kohtuukuormitteisesti, kun syke on 60–70 % maksimisykkeestä tai hapenkulutus 40–55 % maksimista (Corder & Ekelund 2008, 130). ACSM:n (The American College of Sports Medicine) mukaan kohtuukuormitteisesti liikutaan, kun kuormitus

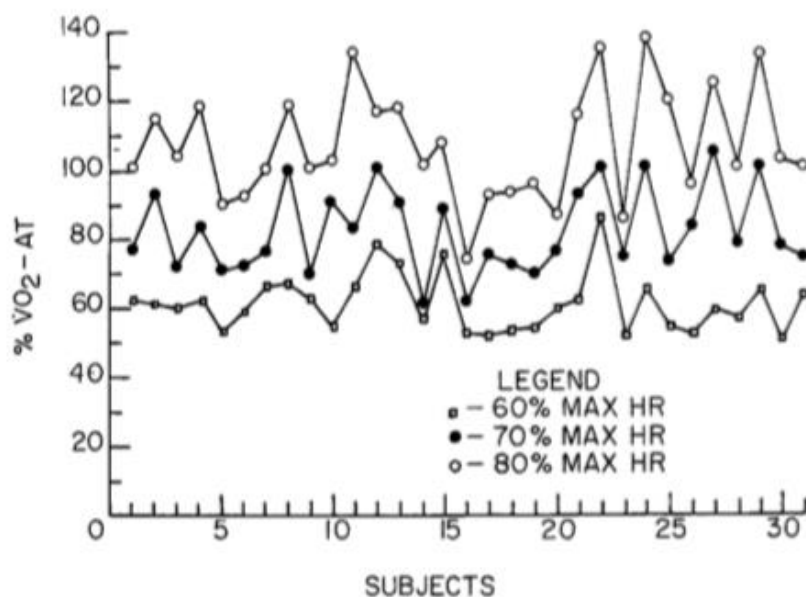
on yli 40 % tasolla hapenottokyvyn reservistä ( $VO_{2max} - VO_{2lepo}$ ). Kun hapenottokyvyn reservistä on käytössä yli 60 %, liikkuminen on rasittavaa. (ACSM 2010.) Myös aerobista ja anaerobista kynnystä on käytetty kuormittavuuden suhteuttamiseen, koska ne kuvaavat hapenkulutusta tai sykettä paremmin yksilöllisiä aineenvaihdunnallisia vasteita eri kuormitustasoilla (Mann ym. 2013).

Kujala ym. (2017) tarkastelivat fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta, kun kuormittavuus määritettiin joko absoluuttisesti tai suhteessa yksilön maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tutkimusta varten 23 224 työkäiseltä mitattiin vähintään kahden päivän ajan sykemuuttujia, jotka muutettiin hapenkulutukseksi fyysisen aktiivisuuden intensiteettitasojen määrittämiseksi. Käytetyt raja-arvot fyysisen aktiivisuuden suhteellisten intensiteettitasojen määrittämiseen olivat kohtuukuormitteiselle 40 % ja rasittavalle fyysiselle aktiivisuudelle 60 % maksimaalisesta hapenottokyvystä. Tutkimus osoitti odotetusti, että paremman fyysisen kunnon omaavien henkilöiden on helpompi saavuttaa absoluuttiset fyysisen aktiivisuuden intensiteettitasojen rajat kuin huonompikuntoisten. Miesten, nuorten ja normaalipainoisten henkilöiden oli helpompi saavuttaa nämä rajat verrattuna naisiin, ylipainoisiin henkilöihin tai vanhuksiin. Kun intensiteettitasoja tarkastellaan suhteessa yksilön maksimaaliseen hapenottokykyyn, erot kuitenkin tasoituivat. Heikompikuntoiset saavuttavat suhteellisen kuormitustason alhaisemmalla absoluuttisella kuormalla kuin parempikuntoiset verrokkit. Kujalan (2017) mukaan tämä tulisi ottaa huomioon tarkasteltaessa tutkimuksia, joissa fyysisen aktiivisuuden mittaamiseen on käytetty kiihtyvyyssmittaria ja fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden luokitteluun on käytetty absoluuttisia raja-arvoja. (Kujala ym. 2017.)

#### **4.3.1 Kuormittavuus suhteutettuna ventilaatiokynnyksiin**

Suorituksen kuormittavuuden suhteuttaminen yksilön maksimitasoon ei kuitenkaan aina kerro koko totuutta suorituksen yksilöllisestä kuormittavuudesta ja sen aiheuttamista fysiologisista vasteista. Tutkijat ovatkin kyseenalaistaneet, onko kuormituksen suhteuttaminen hapenottokykyyn tai sykkeen maksimitasoon riittävän tarkka menetelmä kuvaamaan kuormituksen aiheuttamia yksilöllisiä vasteita. (Wolpern ym. 2015.) Katch ym. (1978) kyseenalaistivat

maksimaaliseen suhteuttamisen maksimiarvoihin jo vuonna 1978. Kun kaikki tutkittavat työskentelivät 80 %:n kuormalla omasta maksimisykkeestään, 17 tutkittavista työskenteli yli ja 14 alle anaerobisen kynnyksen (VT2) (kuva 6). Tutkimus osoittaa, että sykkeen tai hapenottokyvyn avulla ei kyetä mittaamaan energia-aineenvaihdunnassa muutoksia suorituksen kuormittavuuden lisääntyessä. (Katch ym. 1978.)



KUVA 6. Tutkittavien yksilöllinen kuormitus prosentteina anaerobisesta kynnyksestä, kun kaikki työskentelivät 60 %, 70 % tai 80 %:n tasolla maksimisykkeestä (Katch ym. 1978).

Meyer ym. (1999) osoittivat, että suorituksen suhteellinen kuormitustaso vaihtelee yksilöiden välillä, vaikka kuormitus olisi sama suhteessa maksimaaliseen hapenottokykyyn tai maksimisykkeeseen. Heidän tutkimuksessaan 26 kestävyysurheilijaa polkivat maksimaalisen polkupyöräergometritestin uupumukseen asti. Testin perusteella määritettiin  $VO_{2max}$  ja  $HR_{max}$ . Lisäksi määritettiin laktaattiarvot ja tehotasot 60 ja 75 %:n kohdalla  $VO_{2max}$ :sta sekä 70 ja 85 %:n kohdalla  $HR_{max}$ :sta. Tutkijat havaitsivat sekä anaerobiseen kynnykseen (AT) suhteutettujen tehotasojen että laktaattiarvojen vaihtelevan yksilöiden välillä suuresti näissä kohdissa. 60 %:n tasolla  $VO_{2max}$ :sta yksilölliset tehotasot olivat 66–91 % AT:stä ja 75 %:n  $VO_{2max}$  tasolla 86–118 %:n AT:stä. Sykkeessä vastaavat suhdeluvut olivat 70 ja 85 %:n tasolla maksimista 53–85 % ja 87–116 % AT:stä Kirjoittajat toteavatkin, että yksilöllistä kuormittavuutta arvioitaessa tulisi

huomioida kuormitustaso suhteessa anaerobiseen kynnykseen. Anaerobinen kynnyks edustaa käännekohtaa aineenvaihdunnan, hormonitoiminnan ja immunologian säätelyssä. Tutkimuksessa käytettiin hyvin homogeenistä ainoastaan kestävyysurheilijoita sisältävää ryhmää. Voidaan olettaa, että erot yksilöllisessä kuormitustasossa ovat vielä suuremmat, kun käytetään heterogeenisempää tutkittavien ryhmää. Gass ym. (1991) tutkivat aihetta vertaamalla harjoittelien ja ei-harjoittelien pyöräilijöiden vasteita rasitukselle, kun niitä tarkasteltiin samalla  $VO_{2max}$  arvoon suhteutetulla kuormitustasolla. Tutkittavat pyöräilivät kaksi 40 minuutin harjoitusta 5 päivän välein 50 % ja 70 % tehoilla  $VO_{2max}$ :sta. Vaikka kuormitus oli suhteutettu  $VO_{2max}$ -arvoon, fysiologisissa vasteissa havaittiin eroja harjoittelien ja harjoittelemattomien välillä.

Wolpern ym. (2015) tutkivat kahden 12 viikkoa kestävä harjoitusohjelman vaikutusta hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoon terveillä inaktiivisilla aikuisilla. Toinen ryhmä teki harjoitukset sykereserviin suhteutetuilla ja toinen ventilaatiokynnyksiin perustuvilla kuormitustasoilla. Tulokset osoittivat, että ventilaatiokynnyksen perusteella harjoitelleilla tapahtui suotuisimmat muutokset ( $P < 0.05$ ) kehon rasvaprosentin,  $VO_{2max:n}$  ja HDL kolesterolin osalta verrattuna sykerajojen mukaan harjoitelleisiin. Kun yksilöt jaettiin  $VO_{2max:ssa}$  tapahtuneen muutoksen mukaan kehittyviin (*engl. responders*, muutos  $> 5,9$  %) ja kehittymättömiin (*engl. non-responders*, muutos  $< tai = 5,9$  %) yksilöihin, kaikki ventilaatiokynnyksen mukaan harjoitelleet päätyivät kehittyviksi, kun sykkeiden perusteella harjoitelleista tähän ryhmään päätyi vain 41,7 % tutkittavista. Myös Weatherwax ym. (2019) havaitsivat tutkiessaan inaktiivisia aikuisia  $VO_{2max}$ -arvon kehittyvän tehokkaammin, kun harjoitteluintensiteetti määritettiin ventilaatiokynnyksiin perustuen sykereservin sijaan. Tulokset viittaavat siihen, että harjoitteluintensiteetti tulisi määrittää yksilölliset aineenvaihdunnalliset ominaisuudet huomioivien ventilaatiokynnyksien eikä sykereservin perusteella.

McConnell ym. (1992) tutkivat 28 lapsen (ikä  $12,2 \pm 3,6$  vuotta) sykettä ja hapenkulutusta  $VT1$ :llä. Lisäksi he laskivat millä suhteellisilla sykkeen ja hapenkulutuksen osuuksilla ventilaatiokynnyks saavutetaan. Tutkittavien maksimaalinen hapenotto-kyky oli 21,0–69,8 ml/kg/min. Hapenkulutus  $VT1$ :llä oli 9,5–40,0 ml/kg/min ja  $VT1$  saavutettiin 23,3–69,3 % tasolla hapenkulutuksen maksimiarvosta. Sykearvot  $VT1$ :llä olivat 92–168 ja 49,2–87,5 %

maksimisykkeestä. Tutkijat toteavatkin, että vaikka henkilöt liikkuisivat samalla suhteellisella syke- tai hapenkulutuksen tasolla, voi harjoitusvaste olla hyvinkin erilainen. Tämä käy ilmi, kun kuormitus suhteutetaan fysiologisia vasteita yksilötasolla paremmin kuvaavaan ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen.

Ventilaatiokynnyksellä mitatun hapenkulutuksen suhdetta maksimaaliseen hapenkulutukseen on tarkasteltu muutamissa tutkimuksissa lapsilla ja nuorilla. Hebestreit ym. (2000) havaitsivat voimakkaan korrelaation ( $r = 0,92$ ) ventilaatiokynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä 6–12 -vuotiailla lapsilla maksimaalisessa polkupyöraergometritestissä. Myös Cooper ym. (1984) raportoivat vahvasta korrelaatiosta ( $r = 0,92$ ) ventilaatiokynnyksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välillä maksimaalisessa polkupyöraergometritestissä 6–17 -vuotiailla lapsilla ja nuorilla. Tutkijat raportoivat ventilaatiokynnyksen ja  $VO_{2max}$ :n suhteen laskevan hieman iän myötä. Myös Reybrouck ym. (1985) raportoivat ventilaatiokynnyksen laskevan suhteessa maksimaaliseen hapenottokykyyn lasten kasvaessa ja kehittyessä. He mittasivat maksimaalisen hapenottokyvyn ja määrittivät ventilaatiokynnyksen 257 lapselta ja nuorelta, jotka olivat iältään 5,7–18,5 -vuotiaita.  $VO_{2max}$  -arvon ja ventilaatiokynnyksen välillä havaittiin kuitenkin vain matala korrelaatio ( $r = 0,28$  pojilla ja  $r = 0,58$  tytöillä), mikä tutkijoiden mukaan kuvastaa lasten fysiologisesta kehityksestä johtuvia muutoksia, minkä seurauksena myös kynnyksen ja  $VO_{2max}$ :n suhde muuttuu. Suhteen muuttumiseen vaikuttaa erityisesti anaerobisen kapasiteetin kehittyminen.

#### **4.3.2 Kiihtyvyyssmittarit ja suhteellinen kuormittavuus**

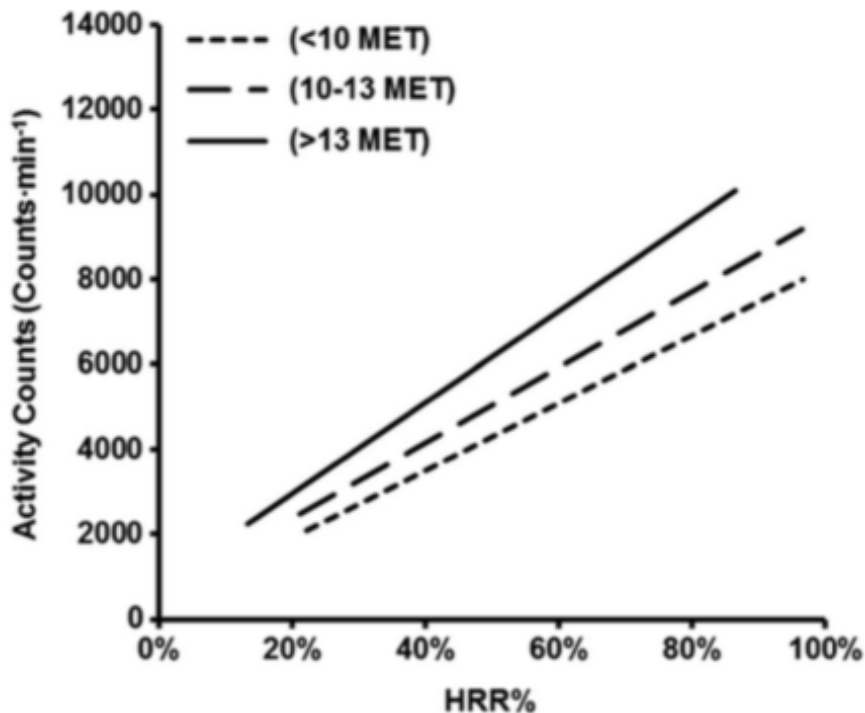
Muutamissa tutkimuksissa on tarkasteltu kestävyyskunnan vaikutusta kiihtyvyyssarvojen perusteella arvioituun fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuteen.

Miller ym. (2010) havaitsivat, että kiihtyvyyssmittaus voi yli- tai aliarvioida fyysisen aktiivisuuden suhteellista kuormittavuutta aikuisilla riippuen yksilön maksimaalisesta hapenottokyvystä. He vertailivat Actigraph 7164 -mittarilla (Actigraph LLC, Pensacola FL, USA) kerättyä kiihtyvyyssdataa epäsuoralla kalorimetrialla mitattuun hapenkulutukseen kolmella eri kävely-/juoksunopeudella (3,22, 4,83, 6,44, 9,66 km/h). Tutkittavat jaettiin iän mukaan kolmeen ryhmään

(20–29-, 40–49- ja 60–69 -vuotiaat). Ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero submaksimaalisella testillä arvioiduissa maksimaalisen hapenottokyvyn arvoissa nuorempien eduksi ( $40,6 \pm 6,5$ ,  $36,0 \pm 7,9$ ,  $30,1 \pm 7,5$  ml/kg/l). Kiihtyvyyssarvot eivät poikenneet merkitsevästi ryhmien välillä, mutta sen sijaan MET -arvoissa oli eroja. Tutkijat havaitsivat, että esimerkiksi 3000 counts/min tarkoitti kevyttä aktiivisuutta 20–40 -vuotiaille, mutta kohtuukuormitteista aktiivisuutta yli 60 -vuotiaille. 5500 counts/min puolestaan oli kohtuukuormitteista aktiivisuutta 20–40 -vuotiaille, mutta rasittavaa yli 60 -vuotiaille.

Ozemek ym. (2013) lähestyivät samaa ongelmaa tutkimalla kiihtyvyyssarvoja 40 ja 60 %:n suhteellisilla tasoilla sykereservistä 73:lta aikuiselta tutkittavalta. Näitä arvoja pidetään kohtuukuormitteisen ja rasittavan fyysisen aktiivisuuden raja-arvoina. Tutkittavat olivat kestävyyskunnoltaan hyvin eri tasoisia  $VO_{2max}$ :n ollessa 27,9 ja 58,5 ml/kg/min väliltä. Tutkittavat juoksivat tai kävelivät viiden minuutin jaksoja nopeuksilla 3,2, 4,8, 6,4, 8,0 ja 9,6 km/h ilman taukoja jaksojen välissä. Syke rekisteröitiin jokaiselta nopeudelta viimeisen 10 sekunnin ajalta. Syke- ja kiihtyvyyssarvot raportoitiin keskiarvona jokaisen nopeuden viimeisen 2 minuutin ajalta. Tutkittavat jaettiin MET -arvoiksi muunnetun maksimaalisen hapenottokyvyn mukaan kolmeen ryhmään (<10 MET, 10–13 MET ja >13 MET) havainnollistamaan eri kestävyyskunnan tasoja. Ryhmät erosivat tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,001$ ) toisistaan  $VO_{2max}$  arvoiltaan. Myös kiihtyvyyssarvoissa havaittiin tilastollisesti merkitseviä ( $p < 0,001$  tai  $p = 0,001$ ) eroja sekä alimman ja keskimmäisen että keskimmäisen ja ylimmän kuntoluokan välillä, kun niitä tarkasteltiin 40 ja 60 %:n suhteellisilla tasoilla sykereservistä (kuva 7). 40 %:n kuormittavuudella sykereservistä kiihtyvyydet olivat kuntotasosta riippuen 1455–7520 counts/min ja 60 %:n kuormittavuudella 3459–10066 counts/min. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kestävyyskunnoltaan eritasoiset henkilöt saavuttavat saman suhteellisen kuormittavuustason hyvinkin erilaisilla kiihtyvyyssarvoilla. Esimerkiksi alin kuntoluokka työskenteli kohtalaisella kuormittavuudella kiihtyvyyssarvoilla 3385 ( $\pm 850$ ) counts/min, kun korkeimmalla kuntoluokalla siihen vaadittiin arvoja 5037 ( $\pm 1019$ ) counts/min. Tulosten perusteella voidaan myös kyseenalais-  
taa iän mukaan määritetyt raja-arvot, sillä suuria eroja havaittiin suhteellisessa kuormittavuudessa, vaikka tutkittavat olivat kaikki nuoria 18–39 -vuotiaita aikuisia. Tähän vaikutti tietysti  $VO_{2max}$  arvoiltaan (27,9–58,5 ml/kg/min) hyvin heterogeeninen tutkittavien joukko.





KUVA 7. Kiihtyvyyssarvojen kehitys sykereserviin suhteutetun kuormituksen lisääntyessä kestävyyskunnoltaan eritasoisilla tutkittavilla (Ozemek ym. 2013).

#### 4.4 Muut energiankulutukseen ja kiihtyvyyteen vaikuttavat yksilölliset tekijät

Energiankulutusta ennustavien kaavojen on havaittu toimivan väestötasolla hyvin, mutta olevan kykenemättömiä kuvaamaan yksilöllisiä arvoja. Yksilölliset tekijät vaikuttavat niin kiihtyvyyssarvoihin kuin energiankulutukseenkin vaikuttaen väistämättä niiden väliseen suhteeseen. Tutkimuksen kehittämisen kannalta on tärkeää ymmärtää yksilöllisten tekijöiden vaikutus kiihtyvyyssmittareilla määritettyyn energiankulutukseen (Wickel ym. 2007). Edellisessä kappaleessa käsiteltiin kestävyyskunnan vaikutuksia fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden arviointiin. Seuraavaksi perehdytään muihin energiankulutukseen, ja energiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen väliseen suhteeseen vaikuttaviin yksilöllisiin tekijöihin.

Nuoremmat lapset kuluttavat enemmän energiaa painokiloa kohden verrattuna vanhempiin lapsiin tai aikuisiin. Pfeiffer ym. (2018) osoittivat, että energiankulutuksen ennustaminen on tarkempaa, kun käytetään eri ikäryhmille kohdennettuja arvoja. Erilaisia anatomisia,

biomekaanisia, fysiologisia ja psykologisia selityksiä on annettu iän myötä lisääntyvälle taloudellisuudelle, mutta selkeää selittävää tekijää ei ole löydetty. Syiksi lasten suuremmalle energiankulutukselle kävellessä ja juostessa on ehdotettu korkeampaa lepoenergiankulutusta, tiheämpää askellusta, muutoksia kineettisissä muuttujissa kuten nivelten liikelaajuudessa ja muutoksia kehon kokonaistyö ja -teho määrissä. (Frost ym. 2002.) Freedson ym. (2005) mainitsevat, että askelpituus ja -tiheys vaikuttavat myös kiihtyvyyssarvoihin. Suuremmalla askeltiheydellä kävelevät saavuttavat samalla kävelynopeudella suuremmat arvot kiihtyvyydessä verrattuna pidempään, mutta harvemmin askeltaviin.

Kehon koko on fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen merkittävästi vaikuttava tekijä. Painavamman kehon liikuttaminen vaatii enemmän lihastyötä, mikä taas johtaa suurempaan energiankulutukseen. (Westerterp 2013.) Ylipainoisilla henkilöillä on lisäksi havaittu kävellessä suurempaa kehon sivuttaissuuntaista massakeskipisteen liikettä, minkä on arveltu johtavan suurempaan energiankulutukseen painokiloa kohden verrattuna normaalipainoisiin henkilöihin (Peyrot ym. 2009). Paino voi vaikuttaa myös suoraan kiihtyvyyssmittarilla mitattuihin arvoihin, sillä arvot kasvavat mitä kauemmaksi kehon massakeskipisteestä mittari on sijoitettu. Vyötärölihavuus voi johtaa lantiolla pidettävän mittarin joutumiseen kauemmas massakeskipisteestä, jolloin lihavammat lapset saavat suurempia kiihtyvyyssarvoja verrattuna normaalipainoisiin verrokkeihin (Westerterp 1999; Freedson ym. 2005)

Ekelund ym. (2004) vertailivat kehon koon ja iän vaikutuksia fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen ja kiihtyvyyssmittarilla mitattuihin kiihtyvyyksiin lapsilla ja nuorilla. Energiankulutusta mitattiin DLW-menetelmällä ja kehon liikkeitä yksiakselisella kiihtyvyyssmittarilla (MTI) 10–14 päivän ajan. Heidän löydöstensä mukaan kehon paino ja kehon rasvaton massa tulee huomioida fyysisen aktiivisuuden energiankulutusta arvioidessa eri ikäisillä ja kokoisilla lapsilla. Samalla liikemäärällä isompikokoisilla nuorilla on suuremmat energiankulutuksen arvot kuin lapsilla. Toisin sanoen isompikokoiset lapset ja nuoret saavuttavat saman energiankulutuksen määrän pienemmällä määrällä liikettä ja kiihtyvyyttä. (Ekelund ym. 2004.) Myös Puyau ym. (2004) osoittivat tutkiessaan 7–18 vuotiaita lapsia ja nuoria, että paino on merkittävä selittävä tekijä, kun tarkastellaan energiankulutuksen ja kiihtyvyyden välistä suhdetta. Kiihtyvyyttä mitattiin kahdella mittarilla (Actical ja Actiwatch). Energiankulutusta ja

kiihtyvyyttä mitattiin tehtävissä, jotka sisälsivät videopelaamista, tietokoneella työskentelyä, aerobicia, pallon heittämistä, kävelyä ja juoksua. Energiankulutus ilmoitettiin aktiivisuuden aiheuttamana energiankulutuksena (AEE, energiankulutus aktiviteetissa-lepoenergiankulutus). Kun korrelaation määrittämiseen käytettiin painoon suhteutettua energiankulutuksen arvoa (kcal/kg/min) korrelaatiokertoimet olivat 0,806 ja 0,792, kun absoluuttisen arvolle (kcal/min) laskettuna se olivat 0,763 ja 0,694. Iän, pituuden tai sukupuolen lisääminen malliin kehon painon lisäksi ei enää merkittävästi lisännyt korrelaatiota (0,811 ja 0,794) kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välillä huolimatta siitä, että näillä kaikilla oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus energiankulutukseen. (Puyau ym. 2004.)

Zhu ym. 2013 puolestaan tutkivat kiinalaisia 7–18 vuotiaita lapsia ja nuoria eri kävely ja juoksunopeuksilla, voimistellessa sekä pelatessa pöytätennistä. Paino on heidän löydöstensä mukaan merkittävin selittävä tekijä kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välisessä suhteessa ( $R^2=0,57$  vs.  $0,73$ ), eikä pituuden iän tai sukupuolen lisääminen kaavaan muuttaman selitysasetta. BMI:n huomioiminen lisäsi myös selitysasetta ( $R^2=0,66$ ) pelkän kiihtyvyyden ( $R^2=0,57$ ) käyttöön verrattuna, mutta ei niin paljoa kuin pelkän painon huomioiminen.

Lee ym. (2016) raportoivat sukupuolen, iän ja kehon koon vaikutuksista energiankulutukseen 7–13 vuotiailla lapsilla eri aktiviteeteissa. Energiankulutusta mitattiin kannettavalla epäsuoraan kalorimetriaan perustuvalla laitteistolla. Kehon koko ei vaikuttanut tuloksiin, kun MET-arvo määritettiin käyttämällä tutkittavan iän ja kehon painon huomioivaa ennustekaavaa (Schofield 1985) lepoenergiankulutuksen laskemiseen. Sukupuoli vaikutti tuloksiin ainoastaan tietokoneella kirjoittamisen osalta, jossa tytöillä havaittiin suuremmat MET-arvot. Kun MET-arvo laskettiin perinteisesti jakamalla hapenkulutus kussakin aktiviteetissa arvolla 3,5 ml/kg/min (1 MET), sukupuoli, kehon koko ja ikä aiheuttivat huomattavasti enemmän eroja eri aktiviteettien välille. Erityisesti BMI aiheutti eroja MET-arvoissa. Malli näytti aliarvioivan energiankulutusta useissa tehtävissä ylipainoisilla ja lihavilla lapsilla. Tutkimus korostaakin yksilöllisesti määriteltujen MET -arvojen käyttöä energiankulutuksen ilmaisemiseen.

Myös Wickel ym. (2007) tutkivat kehon koon vaikutuksia kiihtyvyyden mittarin kykyyn ennustaa energiankulutusta lapsilla. He käyttivät Freedsonin ym. (2005) ikäkohtaisia ennustekaavoja ja

huomasivat niiden yliarvioivan energiankulutusta etenkin pienemmillä lapsilla. Kehon koko oli tässä tutkimuksessa ilmaistu kehon pinta-ala (*engl. BSA, body surface area*), joka laskettiin Mostellerin kaavaa käyttäen ( $BSA (m^2) = ((\text{pituus(cm)} \times \text{paino (kg)})/3600)^{1/2}$ ). Pienillä lapsilla tarkoitettiin tutkimuksessa lapsia, joiden kehon pinta-ala oli alle  $1,20 m^2$ . Ikä ei tutkimuksen mukaan näyttäisi olevan riittävä selittävä muuttuja, vaan yksilön kehon koko tulisi aina huomioida yksilöllistä energiankulutusta laskettaessa.

Kehon koon käyttäminen liikkumisen aiheuttaman energiankulutuksen tai hapenkulutuksen suhteuttamiseksi onkin kyseenalaistettu. Esimerkiksi Tompuri (2015a) on ehdottanut, että energiankulutus tulisi ennemmin suhteuttaa kehon rasvattomaan massaan. Hänen mukaansa kehon painon käyttämiselle tutkittavien kokoerojen normalisoimisessa ei ole fysiologista, matemaattista tai fyysistä perustetta. Perusaineenvaihdunta on vahvasti yhteydessä rasvattoman massan määrään ja lihasmassan määrä on merkittävä tekijä aineenvaihdunnan lisääntymisessä liikkumisen aikana sekä maksimaalisen hapenottokyvyn kannalta. Niinpä energian- tai hapenkulutuksen suhteuttaminen rasvattomaan massaan on fysiologisesti perusteltu tapa normalisoida kehon koko tutkittavien välillä. (Tompuri 2015a.)

Erilaiset biomekaaniset tekijät voivat vaikuttaa liikkumisen taloudellisuuteen. Lapset saavuttavat aikuisille ominaisen kävelyn kinematiikan jo 3–4 vuoden iässä. Tästä huolimatta energiankulutuksen hyötysuhde kävelyssä paranee läpi nuoruuden. Yhdeksi syyksi tähän on ehdotettu lapsilla ja nuorilla suurempaa alaraajojen lihasten kokontraktion määrää kävelyn aikana. Defeyes ym. (2012) vertailivat 10–17 vuotiaiden nuorten ja aikuisten eroja alaraajojen lihasaktiivisuudessa kävelyn aikana. He havaitsivat iän selittävän suurempaa agonistien ja antagonistien samanaikaista aktiivisuutta säären ja pohkeen lihaksissa, mutta ei reiden lihaksissa. Frost ym. (2002) osoittivat, että mekaanisen tehon, agonistien ja antagonistien samanaikaisen aktiivisuuden, askelpituuden ja iän perusteella kyetään selittämään 77 % aktiivisuuden aiheuttaman energiankulutuksen eroista eri ikäisillä lapsilla kävelyssä ja juoksussa.

Stone ym. (2007) havaitsivat, että erityisesti jalan pituus ja ikä tulisi huomioida energiankulutusta arvioitaessa, sillä nämä selittivät heidän löydöstensä mukaan suurimman osan varianssista kiihtyvyyksien perusteella ennustetuissa energiankulutuksissa. He käyttivät tutkimuksessaan

juoksumatolla nopeuksia 4–12 km/h ja tutkittavien ikä vaihteli 8–40 vuoden välillä. Pienempi jalkojen pituuden ja kokonaispituuden suhde näyttäisi johtavan suurempaan energiankulutukseen ainakin juoksuosuudessa. Pienemmästä kehon koosta ja tätä myötä pienemmästä jalkojen pituuden ja kehon pituuden suhteesta seuraa, että tietyllä nopeudella tarvitaan tiheämpää askellusta. alhaisemmasta hyötysuhteesta ja pidemmästä työntövaiheesta johtuen, kyky hyödyntää elastista energiaa on alentunut. jarrutus- ja työntövaiheen keston suhde on siis pienempi lapsilla painottuen työntövaiheeseen. Kasvuun liittyvä askeltiheyden harveneminen johtaa pidempään jarrutusvaiheeseen, minkä seurauksena elastisen energian varastoituminen jänteisiin lisääntyy johtaen taloudellisempaan juoksuosuuteen. (Lacour & Bourdin 2015.)

Biologinen ikä ja kypsyyden aste vaikuttavat energiankulutuksen määrään sekä levossa, että eri aktiviteeteissa. Kokonaisenergiankulutus on havaittu olevan korkeampi ennen murrosikää kuin murrosiän jälkeen. Energiankulutus vastaa aikuisten arvoja, kun Tannerin kuvaamassa kypsyystaulukossa ollaan kohdassa 5. Tämä toteutuu tytöillä noin 15 ja pojilla 16 vuoden iässä. (Harrell ym. 2005, Roemmich ym. 2000.) Liikkumiseen tarvittava energiankulutus kehon painoon suhteutettuna (ml/kg/min) laskee lasten biologisen kypsymisen edetessä (Freedson 2005). Harrell ym. (2005) toteavat, että kypsyyden aste tulisi erityisesti huomioida, kun tutkitaan murrosiässä olevia lapsia, jolloin kypsymisessä on eniten variaatiota. Tytöillä tämä tarkoittaa noin 9–12 ja pojilla 10–14 vuoden ikää. Myös etninen tausta voi vaikuttaa biologisen kypsymisen alkamiseen ja nopeuteen.

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli ensinnä selvittää, kuinka hyvin kiihtyvyyssarvot ja energiankulutus korreloivat keskenään alakouluikäisillä lapsilla, kun niitä mitattiin kuormittavuudeltaan eritasoisissa aktiviteeteissa. Toisena tavoitteena oli selvittää, erotteleeko absoluuttiset kiihtyvyyssarvot ja energiankulutus absoluuttisena MET -arvona ilmoitettuna yksilöllisen fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden kestävyyskunnoltaan eritasoisilla lapsilla, kun niitä verrataan yksilöllisiin ventilaatiokynnyksiin ja hapenkulutuksen huippuarvoon suhteutettuun kuormittavuuteen eri ryhmissä. Lisäksi vertailtiin fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden suhteuttamista hapenottokyvyn reserviin ja ventilaatiokynnyksiin. Tavoitteena oli selvittää, kuvaako kuormittavuuden suhteuttaminen hapenottokyvyn reserviin kuormituksen yksilöille aiheuttamia fysiologisia vasteita, jotka ovat selvemmin yhteydessä kynnyksiin. Näitä asioita tutkittiin seuraavien tutkimuskysymysten ja hypoteesien kautta:

1) Mikä on kiihtyvyyssmittarilla mitattujen MAD-arvojen ja absoluuttista (MET,  $VO_2$ ) sekä suhteellista kuormittavuutta (%VT1, %VT2, % $VO_2R$ ) kuvaavien muuttujien välinen korrelaatio fyysiseltä kuormittavuudeltaan eritasoisissa tehtävissä alakouluikäisillä lapsilla?

Hypoteesina oli, että kiihtyvyyssarvojen ja kuormitusta kuvaavien muuttujien välillä on voimakas lineaarinen korrelaatio. Kuormitusta kuvaavien muuttujien arvot ja MAD- arvot kasvavat samassa suhteessa toisiinsa nähden kuormituksen lisääntyessä. (Eston ym. 1998; Puyau ym. 2004; Ryan & Gormley 2013.)

2) Onko eri aktiviteeteista mitatuissa kiihtyvyyden tai energiankulutuksen arvoissa eroja kestävyyskunnan perusteella jaettujen ryhmien välillä, kun vertaillaan kiihtyvyyssarvoja, absoluuttisia MET -arvoja (MET) tai kun kuormitus ilmoitetaan suhteessa hapenottokyvyn reserviin (% $VO_2R$ ) ja ventilaatiokynnykseen (%VT1)?

Hypoteesina oli, että kiihtyvyyssarvoissa tai MET -arvoissa ei ole eroja pyörätestissä mitatun  $VO_{2peak}$  -arvon mukaan ryhmiteltyjen lasten välillä. Eroja sen sijaan on, kun vertaillaan % $VO_2R$  - tai %VT1- arvoja. Oletuksena on, että heikompi-kuntoiset lapset työskentelevät samassa

tehtävässä korkeammalle kuormituksella suhteessa hapenottokyvyn reserviin tai ventilaatiokynnykseen verrattuna parempikuntoisiin lapsiin. (Kujala ym. 2017.)

3) Työskentelevätkö tutkittavat samalla kuormituksella suhteessa ventilaatiokynnykseen, kun kuormitus suhteessa hapenottokyvyn reserviin on sama?

Hypoteesina oli, että tutkittavat voivat työskennellä eri kuormituksella suhteessa ventilaatiokynnykseen, vaikka työskentelevät samassa suhteessa hapenottokyvyn reserviin. Tämän seurauksena myös fysiologiset vasteet kuormitukselle ovat yksilöiden välillä erilaiset. (Katch ym. 1978; McConnell ym. 1992.)

## **6 MENETELMÄT**

### **6.1 Tutkimuksen kulku**

Tässä työssä käytetty aineisto on osa CHIPASE -tutkimuksen laboratoriomittauksissa kerättyä aineistosta. Tässä osiossa on kuvattu tämän työn aineiston keräämiseen käytetyt menetelmät.

Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta antoi puoltavan lausunnon tutkimukselle 11.8.2017 (liite 1). Tämän jälkeen aloitettiin Jyväskylän kaupungin luvalla tutkittavien rekrytointi kouluista. Mittaukset toteutettiin syksyn 2017 ja kevään 2018 aikana Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriolla ja sen yhteydessä olevassa Hipposhallissa. Tutkimuksessa käytettiin hallin 200 metriä pitkää kumirouhepäällysteistä juoksurataa omavauhtisen juoksun ja kävelyn toteuttamiseksi. Muilta osin tutkimus toteutettiin liikuntalaboratorion sisätiloissa. Syksyn 2017 aikana mittauksia tehtiin pääsääntöisesti 3. ja 5. luokkalaisille ja kevään 2018 aikana keskityttiin 1. luokkalaisten mittauksiin. Tutkimus sisälsi tutustumiskäynnin ja kaksi mittauskertaa laboratoriolle. Mittauskerrat järjestettiin eri päivinä.

Tutustumiskäynnillä lapset vierailivat laboratoriolle vanhempiensa kanssa. Vierailun aikana täytettiin suostumuslomakkeet (liite 4) sekä tutustuttiin mittausvälineisiin ja suorituspaikkoihin. Ensimmäisellä mittauskerralla tehtiin antropometrian ja lepoaineenvaihdunnan mittaukset. Tutkittavat saapuivat laboratoriolle yön yli paastonneina. Heitä ohjeistettiin olemaan syömättä ja juomatta vähintään 12 tuntia ennen mittauksen alkua. Toisella mittauskerralla hapenkulutus ja kiihtyvyys mitattiin 8 eri aktiviteetin aikana. Lisäksi lapset suorittivat maksimaalisen kuormituskokeen polkupyöräergometrilla. Toiseen mittaukseen tutkittavat saapuivat iltapäivällä koulupäivän jälkeen.

### **6.2 Tutkittavat**

Tutkimukseen osallistui yhteensä 34 lasta ensimmäiseltä (9), kolmannelta (14) ja viidenneltä (11) luokalta. Tutkittavista 21 oli tyttöjä ja 13 poikia ja he olivat iältään 7–11 -vuotiaita. Tutkittavat valikoituivat tutkimukseen vapaaehtoisuuteen perustuen. Tutkijat kävivät esittelemässä



tutkimusta ja jakamassa rekrytointikirjeitä (liite 2) jyvaskyläisissä kouluissa. Tämän jälkeen lasten ja vanhempien oli mahdollisuus ilmoittautua tutkimukseen palauttamalla ilmoittautumislomakkeen kouluun tai netin kautta ilmoittautumalla. Tutkimuksen sisäänottokriteerinä oli, että lapsi kykenee tekemään kuormittavuudeltaan maksimaalisen suorituksen. Tutkimukseen ei voinut osallistua, mikäli lapsella oli jokin sellainen sairaus tai vamma, mikä aiheuttaa vaaraa tai haittaa, kun kehoa kuormitetaan maksimaalisesti. Kaikkiaan tutkimukseen osallistui lapsia neljästä eri koulusta. Valtaosa tutkittavista (26) kävi samaa koulua. Perustiedot tutkittavista on kuvattu tulososiossa taulukossa 4.

### **6.3 Tutkimuksessa käytetyt mittarit**

#### **6.3.1 Kiihtyvyyssmittari**

Kiihtyvyyttä mitattiin kolmiakselisella X6-1A kiihtyvyyssmittarilla (Gulf Coast Concepts LLC, Wavelands: MS, USA). Vähä-Ypyä ym. (2015b) ovat osoittaneet, että kyseisellä mittarilla mitattujen kiihtyvyyssarvojen perusteella luokiteltu paikallaanolo ja intensiteettitasot juoksussa ja kävelyssä vastaavat Actigraphin GTX3 (LCC, Pensacola, FL, USA) ja Hookien AM13 (Traxmeat Ltd. Espoo, Suomi) mittareilla saatuja tuloksia. Laukkanen ym. (2014) totesivat X6-1A mittarin tuloksien vastaavan GT3X -mittarilla saatuja tuloksia, kun kiihtyvyyssarvojen perusteella arvioitiin lasten energiankulutusta normaaleissa päivittäisissä toiminnoissa.

Mittauksissa käytettiin keräystaajuutta 40Hz, mittausaluetta  $\pm 6$  G:tä sekä 16 bitin resoluutiota. Mittari puettiin lantiolle joustavalla kangasvyöllä, jossa on pussi mittaria varten. Mittari asetettiin lantion luiden päälle, hieman vasemman suoliluun etuyläkäärjen etupuolelle (kuva 8). Vyö säädettiin sellaiselle kireydelle, että se ei tuntunut epämiellyttävältä, eikä päässyt liikkumaan mittausten aikana.



KUVA 8. Kiihtyvyydsmittarin sijainti lantiolla.

Kiihtyvyydata esitettiin signaalin amplitudin keskimääräistä hajontaa kuvaavana MAD-arvona (mean amplitude deviation). MAD-arvo laskettiin 1 sekunnin aikaikkunoissa kaavalla  $\frac{1}{n} \sum |r_i - r|$ , jossa n on näytteiden määrä aikaikkunassa,  $r_i$  on vektorisignaali tietyssä mittauspisteessä ja  $r$  = keskiarvoinen vektorisignaali valitussa aikaikkunassa (epoch). Ensin laskettiin jokaisen yksittäisen kiihtyvyyssarvon poikkeama keskiarvoisesta kiihtyvyydestä aikaikkunassa, jonka jälkeen nämä poikkeamat laskettiin yhteen. Tuloksena saatiin MAD-arvo jokaiselle mitatulle sekunnille. Tulos ilmoitettiin G-arvoina (1 G=9,81 m/s<sup>2</sup>).

### 6.3.2 Hengityskaasuanalysaattori

Energiankulutusta mitattiin epäsuoraan kalorimetriaan perustuvalla liikuteltavalla Oxycon mobile - hengityskaasuanalysaattorilla (Jäger, Höchberg, Saksa) (kuva 9). Laite mittaa hapenkulutusta ja hiilidioksidin tuottoa sekä ventilaation määrää ja tiheyttä. Hengittäminen tapahtui mittauksen aikana nenän ja suun tiivistä peittävän maskin (Hans Rudolph, Inc., Shawnee, Kansas, USA) kautta. Mittauksissa käytettiin lapsille tarkoitettua maskia (petite), jonka tilavuus on 78 ml. Laitteisto sisältää kaksi kevyttä maskiin yhteydessä olevaa mittayksikköä, jotka kulkivat valjailla tutkittavan selässä. Tutkittavan kannettavana olevat maski, valjaat ja mittayksiköt

paristoinen painavat yhteensä 950 grammaa. Mittayksiköt ovat telemetrisesti yhteydessä pääyksikköön, joka puolestaan on USB -johdolla yhteydessä kannettavaan tietokoneeseen. Hengityskaasudata kerättiin hengitys hengitykseltä menetelmällä käyttämällä Labmanager-ohjelmistoa (Laboratory Systems Group, Inc., Arizona, USA). Ohjelmiston avulla mittausta kyettiin seuraamaan reaaliaikaisesti mahdollisten ongelmien varalta.



KUVA 9. Kannettava hengityskaasuanalysointilaitteisto tutkittavan päällä mittausvalmiudessa.

Laitteisto kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaan ennen jokaista mittausta sekä virtausmittauksen että kaasumittauksen osalta. Ennen kalibrointia kaasujen tilavuuteen vaikuttavat lämpötila ja ilmanpaine mitattiin ja syötettiin laitteelle. Virtauskalibroinnissa laite puhalttaa ilmaa ennalta tiedetyillä kovuuksilla, joilla tarkistetaan, että turbiini mittaa ilman virtauksen oikein. Kaasukalibroinnissa hapen ja hiilidioksidin mittauksen oikeellisuus varmistetaan käyttämällä vakiokaasua, jonka hapen ja hiilidioksidin pitoisuus tiedetään. Kalibrointi toistettiin, kunnes laite antoi hyväksyttävät arvot. Maskin tiiveys varmistettiin sulkemalla maskin ilma-aukko

kevyesti kädellä ja käskemällä lasta puhaltamaan ulospäin. Mikäli ilmaa ei vuotanut maskin reunoista, todettiin sen olevan tiiviisti tutkittavan kasvoilla.

## **6.4 Tutkimuksessa tehdyt mittaukset**

### **6.4.1 Antropometria**

Seisoma- ja istumapituus mitattiin käyttämällä seinään kiinnitettyä mittanauhaa (SECA, Hamburg, Saksa). Seisomapituus mitattiin tutkittavan seistessä kantapäät ja selkä kiinni seinässä mahdollisimman suorassa seisoma-asennossa. Istumapituus mitattiin käyttämällä selkänöjätonta jakkaraa, jossa istuessaan tutkittavan jalat eivät osuneet maahan. Istumapituus laskettiin vähentämällä tuolin korkeus pituudesta, joka mitattiin lapsen istuessa jakkarella.

Vyötärön- ja lantionympäryys mitattiin mittanauhaa käyttäen. Lantionympäryys mitattiin reisiin ison sarvennoisen (*lat. trochanter major*) kohdalta tutkittavan seistessä jalat yhdessä. Vyötärönympäryys mitattiin alimman kylkiluun ja suoliluun harjun puolesta välistä. Tutkittavaa ohjeistettiin hengittämään mittauksen aikana normaalisti. Tulos luettiin mittanauhasta uloshengityksen lopuksi.

Kehonkoostumus mitattiin sähköiseen bioimpedanssiin perustuvalla InBody 770 -laitteella (Biospace Co. Soul, Etelä-Korea). Tutkittavat riisuiivat päällysvaatteet ja korut ennen laitteen astumista. Kädet ja jalat pyyhittiin desinfiointiaineella ennen mittausta. Menetelmä perustuu molemmissa käsissä pidettävistä käsikahvoista ja jalkojen alla olevista antureista lähetettävän pienen sähkövirran kulkeutumiseen kehon läpi. Koska kudoksilla on erilainen vesipitoisuus ja siten erilainen sähkönjohtavuus, laite kykenee laskemaan kehon koostumuksen sen sähkövirran aiheuttaman vastuksen eli impedanssin perusteella.

## 6.4.2 Lepoaineenvaihdunta

Lepoaineenvaihdunta mitattiin ensimmäisellä mittauskerralla, johon tutkittavat saapuivat vähintään 12 tuntia paastonneina. Mittaus suoritettiin käyttämällä Oxycon mobile -hengityskaasuanalysointia. Hengityskaasuja mitattiin 30 minuutin ajan tutkittavien ollessa makuuasennossa. Tutkittavia ohjeistettiin makaamaan tutkimuspöydällä rennosti, puhumatta ja mahdollisimman paikoillaan sekä normaalisti hengittäen, mutta nukahtamista välttämällä. Tutkittavilla oli tyyny pään alla ja halutessaan he saivat pitää peittoa päällään. Pään puolesta päätyä nostettiin hieman mukavamman asennon saavuttamiseksi. Tutkittavat saivat halutessaan katsella lastenohjelmia mittauksen aikana (kuva 10). Tutkijat tarkkailivat mittauksia ja varmistivat, että se tapahtui ohjeistuksen mukaisesti.



KUVA 10. Lepoaineenvaihdunnan mittaus.

30 minuuttia kokonaisuudessaan kestäneestä lepoaineenvaihdunnan rekisteröinnistä otettiin analyysiin 15–25 minuutin välinen 10 minuutin jakso. Lepoaineenvaihdunnan arvoksi määritettiin keskimääräinen arvo hengitys hengitykseltä mitatusta aineistosta 10 minuutin mittausjakson aikana. Analyysistä poistettiin kohdat, jossa tutkittavat olivat selkeästi liikkuneet. Analyysikohtaa siirrettiin myös, jos hapenkulutuksessa havaittiin poikkeuksellisen korkeita lukuja

15–25 minuutin välillä. Tällöin ikkunaa siirrettiin niin, että poikkeuksellisen korkeat arvot jäivät analyysiin valitun aineiston ulkopuolelle.

### **6.4.3 Kiihtyvyys ja hapenkulutus eri aktiviteeteissa**

Tutkittavat suorittivat 8 eri aktiviteettia, joiden aikana kiihtyvyyttä ja hapenkulutusta mitattiin samanaikaisesti. Mitatut aktiviteetit olivat istuminen, seisominen, mobiilipelin pelaaminen seisuen, mobiilipelin pelaaminen istuen, kävely juoksumatolla 4 km/h, kävely juoksumatolla 6 km/h, juoksu juoksumatolla 8 km/h, porraskävely, ruutuhyppely, omavauhtinen kävely, omavauhtinen juoksu. Tehtävien sisällöt ovat kuvattuna taulukossa 3. Yhden aktiviteetin kesto oli 4 minuuttia 30 sekuntia. Aktiviteettien välissä pidettiin 1 minuutin tauko ennen seuraavaan aktiviteettiin siirtymistä. Aktiviteetit tehtiin satunnaistetussa järjestyksessä. Tutkittavia ohjeistettiin olemaan puhumatta aktiviteettien aikana. Tutkittavat ohjeistettiin ennen jokaisen aktiviteetin aikana ja tarvittavia lisäohjeita annettiin suorituksen aikana.

TAULUKKO 3. Tutkimuksessa käytetyt aktiviteetit.

Tehtävä	Kuvaus
Istuminen	Tutkittavat istuivat tuolilla puhumatta ja liikkumatta.
Kävely juoksumatolla 4 km/h & 6 km/h	Tutkittavat kävelivät juoksumatolla 4 km/h ja 6 km/h nopeuksilla. Heitä ohjeistettiin kävelemään mahdollisimman luonnollisesti ja hakemaan kävelyvauhti, jolla he pysyvät paikallaan matolla. Tutkittavaa ohjeistettiin suorituksen aikana, mikäli hän käveli liian nopeasti tai hitaasti.
Juoksu juoksumatolla 8 km/h	Tutkittavat juoksivat juoksumatolla, jonka vauhti oli 6 km/h. Heitä ohjeistettiin kävelemään mahdollisimman luonnollisesti ja hakemaan kävelyvauhti, jolla he pysyvät paikallaan matolla. Tutkittavaa ohjeistettiin suorituksen aikana, mikäli hän käveli liian nopeasti tai hitaasti.
Porraskävely	Tutkittavat kävelivät portaita ylös ja alas omavalintaisella, itselleen ominaisella vauhdilla. Kun tutkittavat olivat kerran käyneet rappujen yläpäässä ja tulleet takaisin alas pidettiin 10 sekunnin tauko. Tämän jälkeen tutkija lähetti tutkittavan uudelleen liikkeelle. Raput sisälsivät 15 askelmaa.
Ruutuhyppely	Tutkittavat hyppivät läpi kumimerkeillä tehdyn ruutuhyppelyradan edestakaisin, jonka jälkeen pidettiin 10 sekunnin tauko ennen seuraavaa suoritusta.
Omavauhtinen kävely	Tutkittavat kävelivät 200 metrin rataa ympäri omavalintaisella kävelyvauhdilla. Tutkittavia ohjeistettiin valitsemaan itselle ominainen vauhti, jota kävelevät normaalisti kouluun tai kavereiden luokse.
Omavauhtinen juoksu	Tutkittavat juoksivat 200 metrin rataa ympäri omavalintaisella juoksuvauhdilla. Tutkittavia ohjeistettiin valitsemaan juoksuvauhti, jota jaksaisivat juosta pidemmän aikaa.

Kokonaisuudessaan 4 minuuttia ja 30 sekuntia kestäneistä aktiviteeteista otettiin analyysiin mukaan 2-4 minuutin välillä mitattu kahden minuutin jakso. Tällä varmistettiin, että hapenkulutuksessa ehdittiin saavuttaa tasannevaihe. Hapenkulutus ja kiihtyvyys raportoitiin tehtävistä kahden minuutin keskiarvona.

#### **6.4.4 Polkupyöräergometritesti**

Kestävyyskunnan mittaamiseen ja ventilaatiokynnysten määrittämiseen käytettiin maksimaalista kuormituskoetta, joka suoritettiin polkupyöräergometrillä (Ergoselect 200 K®, Ergoline, Bitz, Germany), jota ohjattiin tietokonevälitteisesti käyttämällä CardioSoft-ohjelmistoa (GE Healthcare Medical Systems, Freiburg, Saksa). Hengityskaasut kerättiin kuormituskokeen aikana hengitys hengitykseltä kannettavalla hengityskaasuanalysointorilla (Oxycon mobile, Jäger, Höchberg, Saksa) ja Labmanager-ohjelmistolla (kuva 11).

Ennen kuormituskokeen alkua tehtiin ns. lepokeräys, jolloin tutkittava istui 2 minuuttia paikallaan pyörän selässä. Tämän jälkeen alkoi kolme minuuttia kestävä lämmittelyvaihe, jonka aikana vastus oli 20 wattia. Lämmittelyn aikana harjoiteltiin myös oikealla kierrosnopeudella polkemista ja sen tasaista ylläpitämistä, jonka jälkeen työkuorma lisääntyi portaattomasti aina uupumukseen saakka. Työkuorma lisääntyi 10 ( $\leq 125$  cm), 15 ( $> 125$  cm) tai 20 wattia ( $> 150$  cm) minuutissa riippuen lapsen pituudesta. Lapsia pyydettiin pitämään polkemisnopeus 70–80 kierroksessa minuutissa. Testi lopetettiin, kun tutkittava ei enää jaksanut polkea tai polkemisnopeus laski toistuvasti alle 65 kierroksen minuutissa eikä tutkittava enää kyennyt nostamaan polkemisnopeutta. Tutkijat kannustivat tutkittavia voimakkaasti sanallisesti tekemään parhaansa ja yrittämään loppuun asti. Kriteereinä maksimaaliselle suoritukselle käytettiin hapenoton tasaantumista riippumatta vastuksen lisääntymisestä, RER-arvon 1,1 ylittymistä, sykkeen kohoamista yli 85 %:n tasolle ennustetusta maksimisykkeestä, tutkittavan punastumista ja hikoilua suorituksen aikana sekä tutkijan subjektiivista arviota lapsen maksimaalisesta suorituksesta.





KUVA 11. Polkupyöräergometrilla toteutettu maksimaalinen kuormituskoke.

Kuormituskokeen aikana hengitys hengitykseltä rekisteröidyt hengityskaasut keskiarvoistettiin 15 sekunnin aikaikkunoihin. Korkein 15 sekuntiin keskiarvoistettu hapenkulutusarvo testin aikana valittiin  $VO_{2peak}$  -arvoksi.

Ventilaatiokynnykset määritettiin hengityskaasujen perusteella piirrettyjen kuvaajien avulla. Kynnysten määrittämisen toistettavuus varmistettiin käyttämällä niiden määrittämiseen kahta tutkijaa, jotka määrittivät kynnykset itsenäisesti.

Ensimmäinen ventilaatiokynnys määritettiin ensisijaisesti kohtaan, jossa hiilidioksidin tuoton lisääntyminen kiihtyy suhteessa hapenkulutukseen. Hiilidioksidin ja hapenkulutuksen suhteen muutos katsottiin kuvaajasta, jossa x-akselilla oli hapenkulutus ja y-akselilla hiilidioksidin tuotto. Määrityksen tueksi tarkasteltiin kohtaa, jossa ventilaatio kiihtyy suhteessa hapenkulutukseen, mutta ei suhteessa hiilidioksidintuottoon. Ventilaation kiihtyminen suhteessa hapenkulutukseen tarkastettiin kuvaajasta, jossa ventilaatioekvivalentti hapelle ( $VE/VO_2$ ) ja hiilidioksidille piirrettiin suhteessa aikaan (kuva 1). (Beaver ym. 1986.)

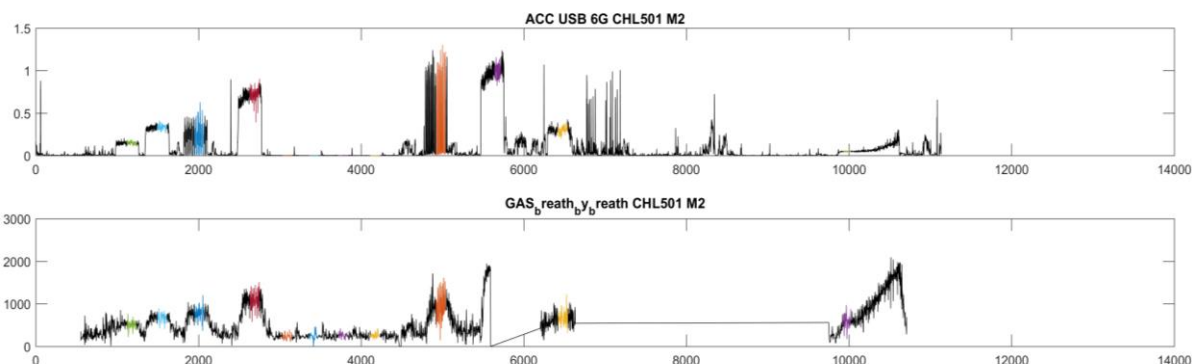
Toinen ventilaatiokynnys määritettiin kohtaan, jossa ventilaatio lisääntyy myös suhteessa hiilidioksidin tuottoon. Kohtaa tarkasteltiin kuvaajista, joissa ventilaatioekvivalentti hiilidioksidille ( $VE/VCO_2$ ) piirrettiin suhteessa aikaan (kuva 2). Apuna käytettiin kuvaajaa, jossa ventilaatio kuvattiin hiilidioksidin tuottoon suhteutettuna. (Wassermann ym. 1973)

## 6.5 Aineiston käsittely

Tutkittaville laskettiin painon ja pituuden perusteella  $BMI_{SDS}$ -arvo.  $BMI_{SDS}$  on painoindeksi-keskihajontapiste, mikä kuvaa tutkittavien painoindeksiä suhteessa suomalaiseen vertailuaineistoon (Saari ym. 2011). Biologista kypsyyttä arvioitiin ”vuosia PHV:hen”-arvolla, joka kuvaa etäisyyttä nopeimman pituuskasvun vaiheeseen (*engl. PHV, peak height velocity*) vuosissa. Arvon laskemiseen käytettiin Mooren kaavaa (labelled-Moore-1=tytöt:  $-7,709133+[0,0042232 \times [ikä \times pituus]]$ , pojat:  $-8,128741+[0,0070346 \times [ikä \times istumapituus]]$ ). (Moore ym. 2015.)

Lepoaineenvaihdunnan mittauksesta ja aktiviteeteista kerätystä aineistoista poimittiin analyysissä käytettävät mittausjaksot Matlab-ohjelman (The MathWorks, Massachusetts, USA) avulla. Mittausjaksojen valinta perustuivat tutkimuspöytäkirjoihin merkittyihin mittareiden käynnistys- sekä suoritusaikoihin. Aikojen oikeellisuus ja datan laatu tarkastettiin manuaalisesti ohjelman piirtämistä kuvaajista (kuva 12). Samalla tarkastettiin, että analyysin päätyvä osa datasta oli kokonaisuudessa tasannevaiheesta, jolloin hapenkulutus- ja kiihtyvyyssarvot ovat saavuttaneet suoritusta vastaavan tason, ja pysyvät samalla tasolla koko valitun pätkän ajan. Tarvittaessa tehtävien alkamis- ja loppumisaikoihin tehtiin manuaalisia muutoksia, jotta oikea data

päättyi analyysiin. Jos analyysiin valitussa datassa ilmeni selviä häiriöitä, esimerkiksi hapenkulutus putosi nolnaan, poistettiin kohta analyysistä.



KUVA 12. Esimerkki toisella mittauskerralla mitatusta aineistosta. Ylhäällä kiihtyvyyssarvot (ACC) ja alhaalla hapenkulutus (GAS). Värät kuvaavat lasten suorittamia eri tehtäviä.

Kuormittavuuden kuvaamiseksi polkupyöräergometrilla suoritettua maksimaalisessa kuormituskokeessa mitattu korkein hapenkulutuksen arvo, hapenkulutus ventilaatiokynnyksillä ja eri tehtävissä mitatut hapenkulutuksen arvot muutettiin MET -arvoiksi. MET -arvot laskettiin jakamalla hapenkulutus kuormituskokeessa ja eri tehtävissä levossa mitatulla hapenkulutuksella. Näin saatiin energiankulutus eri tehtävissä ( $MET_{tehtävä}$ ), ensimmäisellä ventilaatiokynnyksellä ( $MET_{VT1}$ ) sekä suurin kuormituskokeessa mitattu energiankulutus ( $MET_{korkein}$ ). Näiden perusteella laskettiin vielä kuormittavuus suhteessa ventilaatiokynnykseen eli % VT1 ( $MET_{tehtävä}/MET_{VT1} * 100$ ) ja hapenottoyvyn reserviin eli %  $VO_{2R}$  ( $(MET_{tehtävä}-MET_{lepo})/(MET_{korkein}-MET_{lepo}) * 100$ )

Fyysiseltä kuntotasoltaan eri tasoisten lasten vertailemiseksi heidät jaettiin kolmeen ryhmään pyörätestissä mitatun lihassmassaan suhteutetun hapenkulutuksen huippuarvon ( $VO_{2peak}$ ) perusteella. Esimerkiksi Tompuri (2015a) on perustellut tämän olevan fysiologian näkökulmasta paras tapa normalisoida kehon koon vaikutus hapen- ja energiankulutukseen. Ryhmään 1 kuuluvilla oli korkein  $VO_{2peak}$  -arvo ja ryhmässä 3 matalimmat arvot. Ryhmät on tarkemmin kuvattu tulososiossa taulukossa 7. Kolme pyörätestiä eivät täyttäneet onnistuneelle testille asetettuja kriteereitä, joten niitä ei voitu käyttää analyysissä. Analysoitavaksi päättyi näin ollen 31 tutkitavan tulokset. Kahdeksassa eri tehtävässä mitattuja muuttujia vertailtiin kuntoryhmien välillä.

Analyysissä mukana olleita tehtäviä olivat istuminen, kävely 4 ja 6 km/h, juoksu 8 km/h, porraskävely, ruutuhyppely, omavauhtinen kävely ja omavauhtinen juoksu. Vertailtavina muuttujina olivat kiihtyvyys, MET-arvo sekä kuormittavuus suhteutettuna ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen (%VT1), toiseen ventilaatiokynnykseen (%VT2) ja hapenottokyvyn reserviin (%VO<sub>2</sub>R).

Kuormituksen suhteuttamista hapenottokyvyn reserviin ja ventilaatiokynnyksiin vertailtiin jakamalla tutkittavat kolmeen ryhmään perustuen tutkittavien hapenkulutukseen suhteessa ventilaatiokynnykseen 60 % ja 40 %:n kohdalla hapenottokyvyn reservistä. Ryhmään yksi tuli tutkittavat, joiden hapenkulutus oli näissä kohdissa korkein suhteessa VT1:een. Tarkoituksena oli selvittää, voiko tutkittavien välillä olla eroja VT1:een suhteutetun kuormituksen osalta, kun he työskentelevät samalla kuormittavuudella suhteessa hapenottokyvyn reserviin. Epäonnistuneiden pyörätestien seurauksena tämän kysymyksen osalta tutkittavien määrä oli myös 31.

## **6.6 Tilastolliset menetelmät**

Tutkimusaineiston tilastolliseen analyysiin käytettiin SPSS -ohjelman versiota 24 (IBM, New York, USA). Havaintoaineiston jakautuman normaalisuus tarkastettiin käyttämällä Shapiro-Wilk testiä. Ryhmien välistä varianssin yhtä suuruutta testattiin Levene-testillä.

Koska energiankulutuksen ja kiihtyvyyden arvot olivat aineistossa vinosti jakautuneet, korrelaation tutkimiseen käytettiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa. Korrelaatiota tarkasteltiin kaikkien tehtävien osalta, kun porraskävely ja ruutuhyppely jätetään pois analyysistä tai kun pelkästään juoksu ja kävelyä sisältävät tehtävät ovat analyysissä mukana. Korrelaatiota tutkittiin myös kiihtyvyyksien ja kestävyyskuntoon suhteutettujen kuormittavuuden muuttujien (% VT1%, % VT2, VO<sub>2</sub>R) kanssa.

Toisessa ja kolmannessa tutkimuskysymyksessä ryhmien välisiä eroja vertailtiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Kruskal-Wallis testillä. Kuormittavuutta kuvaavia muuttujia tarkasteltiin kaikkien tehtävien osalta toistomittausten varianssianalyysillä. Ryhmien välisiä eroja eri tehtävissä tutkittiin tarkemmin parametrisella yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Kruskal-Wallis-testillä. Kruskal-Wallis-testi valittiin yksisuuntaisen varianssianalyysin sijasta, mikäli

useampi ryhmistä ei ollut tarkasteltavan muuttujan osalta normaalisti jakautunut tai varianssit eivät olleet yhtä suuret. Kun tilastollisena menetelmänä käytettiin varianssianalyysiä, yksittäisten ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin Bonferroni-testillä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin p-arvoa 0,05.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Tutkittavien perustiedot

Tutkimukseen osallistui yhteensä 34 alakouluikäistä lasta. Perustiedot tutkittavista ja heidän ominaisuuksistaan on kerätty taulukkoon 4. BMI<sub>SDS</sub> on painoindeksi-keskihajontapiste, mikä kuvaa tutkittavien painoindeksiä suhteessa suomalaiseen vertailuaineistoon (Saari ym. 2011).

TAULUKKO 4. Perustiedot tutkittavista (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta).

	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI <sub>SDS</sub>	Vuosia PHV:hen	VO <sub>2peak</sub> / kehon paino (ml/kg/min)	VO <sub>2peak</sub> / rasvaton massa (ml/kg/min)
Kaikki (N=34)	9,6 $\pm 1,4$	137,4 $\pm 9,3$	32,2 $\pm 6,6$	-0,2 $\pm 1,1$	-2,5 $\pm 1,2$	42,7 $\pm 5,7$	50,2 $\pm 5,3$
Tytöt (N=21)	9,6 $\pm 1,5$	135,7 $\pm 9,3$	30,2 $\pm 6,0$	-0,5 $\pm 1,1$	-2,2 $\pm 1,2$	41,6 $\pm 5,7$	49,2 $\pm 5,9$
Pojat (N=13)	9,7 $\pm 1,4$	140,0 $\pm 9,0$	35,5 $\pm 6,5$	0,2 $\pm 1,2$	-3,1 1,0	44,7 $\pm 5,6$	51,9 $\pm 3,5$

BMI<sub>SDS</sub>= painoindeksi-keskihajontapiste, joka kuvaa painoindeksiä suhteessa vertailuaineistoon  
Vuosia PHV:hen= Mooren kaavalla (Moore 2015) arvioitu etäisyys pituuskasvun huippuvaiheeseen vuosissa.  
Arvo kuvaa biologisen kypsymisen vaihetta.  
VO<sub>2peak</sub>= polkupyöräergometrillä tehdyssä maksimaalisessa kuormituskokeessa mitattu korkein hapenkulutuksen arvo

Taulukossa 5 on esitetty tutkittavien välistä vaihtelua hapenkulutuksen huippuarvossa, hapenkulutuksessa ventilaatiokynnyksillä sekä ventilaatiokynnysten prosentuaalisessa osuudessa hapenottokyvyn reservistä.

TAULUKKO 5. Hapenkulutuksen huippuarvo polkupyöraergometrilla toteutetussa maksimaalisessa kuormituskokeessa ( $VO_{2peak}$ ), hapenkulutus ventilaatiokynnyksillä kehon painoon suhteutettuna (VT1 & VT2) sekä kynnysten hapenkulutus suhteessa hapenottokyvyn reserviin ( $VT1\%VO_{2R}$  &  $VT2\%VO_{2R}$ ).

	Keskiarvo	Keskihajonta	Vaihteluväli
$VO_{2peak}$ (ml/kg/min)	42,7	5,7	30,2–54,1
VT1 (ml/kg/min)	29,7	4,3	22,0–41,7
VT1% $VO_{2R}$	66,9	8,2	46,1–83,1
VT2 (ml/kg/min)	37,6	4,8	31,8–48,3
VT2% $VO_{2R}$	85,3	6,8	71,0–96,6

## 7.2 Kiihtyvyys ja fyysinen kuormittavuus eri tehtävissä

Samanaikainen kiihtyvyyden ja hapenkulutuksen mittaus suoritettiin kahdeksassa eri tehtävässä. Taulukkoon 6 on kerätty tehtävistä mitatut kiihtyvyyssarvot sekä hapenkulutussarvot esitettyinä absoluuttisesti ja suhteessa kestävyyskuntoa kuvaaviin muuttujiin.

Tutkittavat suorittivat omavauhtisen kävelyn keskimäärin  $5,0 \pm 0,8$  km/h nopeudella. Omavauhtinen juoksussa keskimääräinen nopeus oli  $10,3 \pm 1,8$  km/h. Lapset saavuttivat suurimman kuormittavuuden itse valitulla juoksunopeudella. Kuormittavuus oli puolestaan kevyin istumisessa ja kävelytehtävissä. Kävely 6 km/h oli kuormittavuudeltaan hieman ruutuhyppelyä ja portaiden nousua kevyempää aktiivisuutta. Ruutuhyppely puolestaan oli hieman porraskävelyä kuormittavampaa. Keskimääräinen kuormitus ylitti ensimmäisen kynnyksen kolmessa tehtävässä. Nämä tehtävät olivat molemmat juoksitehtävät sekä ruutuhyppely. Porraskävelyn aiheuttama hapenkulutus oli keskimäärin 97 % VT1:n kohdalla havaitusta hapenkulutuksesta.

TAULUKKO 6. Kiihtyvyyssarvot ja kuormittavuus kuvattuna absoluuttisesti ja suhteessa kes-  
tävyyskuntoon eri aktiviteeteissa. Tulokset ovat muodossa keskiarvo ( $\pm$ keskihajonta).

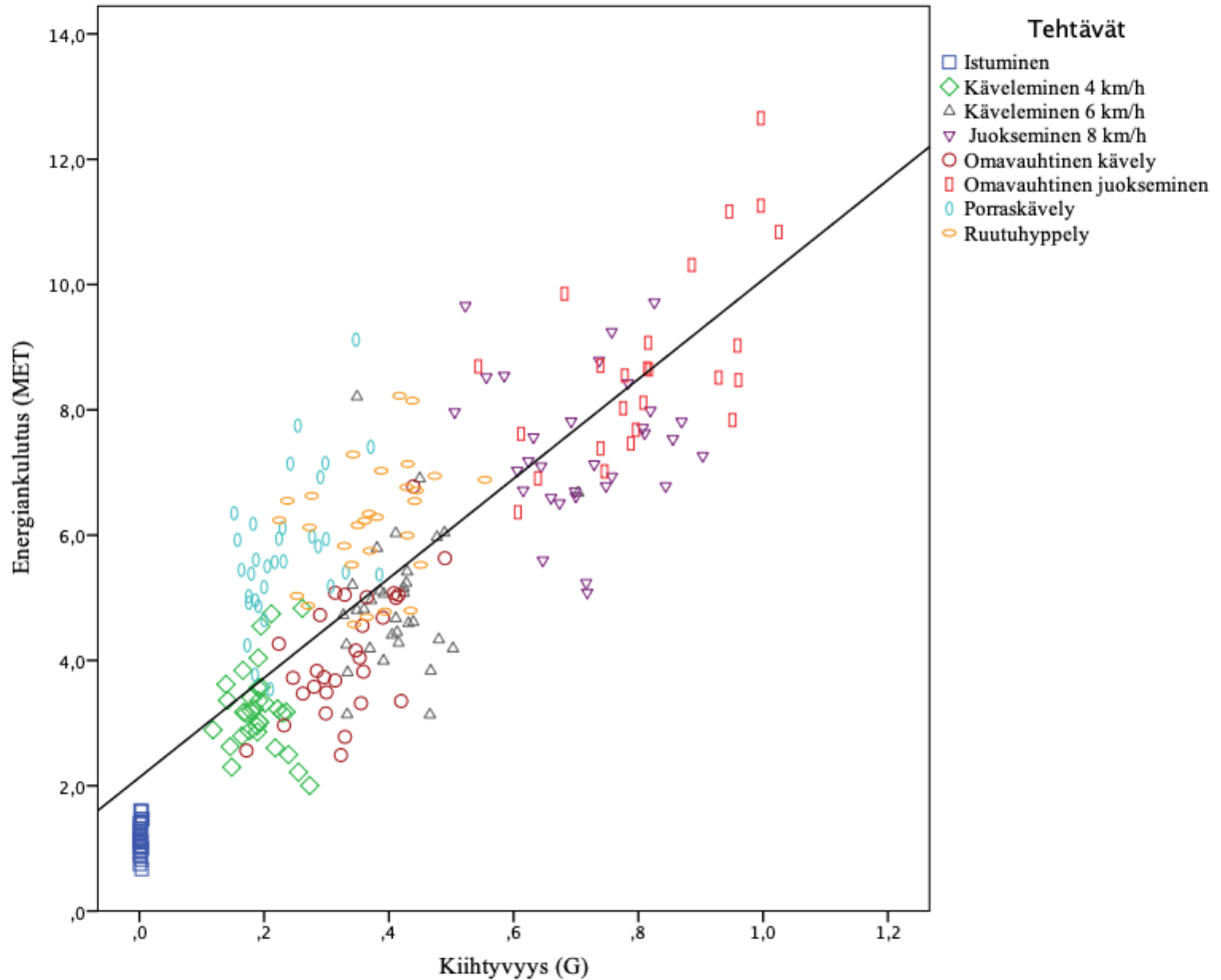
Aktiviteetit	Kiihty- vyys (mG)	VO <sub>2</sub> /kehon paino (mL/kg/min)	VO <sub>2</sub> /rasvaton massa (mL/kg/min)	MET- arvo	% VO <sub>2</sub> R	% VT1
Istuminen	2 ( $\pm$ 1)	5,8 ( $\pm$ 1,3)	6,9 ( $\pm$ 1,2)	1,2 ( $\pm$ 0,2)	2,4 ( $\pm$ 3,3)	20,3 ( $\pm$ 4,8)
Kävely 4 km/h	193 ( $\pm$ 36)	15,8 ( $\pm$ 2,8)	19,0 ( $\pm$ 3,4)	3,2 ( $\pm$ 0,7)	29,4 ( $\pm$ 9,2)	54,2 ( $\pm$ 12,4)
Kävely 6 km/h	415 ( $\pm$ 72)	24,1 ( $\pm$ 3,8)	28,9 ( $\pm$ 5,0)	4,9 ( $\pm$ 1,0)	51,8 ( $\pm$ 12,4)	82,6 ( $\pm$ 16,5)
Juoksu 8 km/h	711 ( $\pm$ 102)	36,5 ( $\pm$ 3,9)	43,6 ( $\pm$ 4,8)	7,4 ( $\pm$ 1,1)	85,8 ( $\pm$ 15,2)	125,3 ( $\pm$ 21,0)
Porraskävely	238 ( $\pm$ 66)	27,8 ( $\pm$ 4,1)	33,5 ( $\pm$ 5,4)	5,7 ( $\pm$ 1,1)	63,5 ( $\pm$ 16,2)	96,7 ( $\pm$ 22,5)
Ruutuhyppely	371 ( $\pm$ 77)	30,4 ( $\pm$ 3,8)	36,2 ( $\pm$ 4,2)	6,1 ( $\pm$ 1,0)	70,4 ( $\pm$ 13,8)	106,8 ( $\pm$ 21,0)
Omavauhtinen kävely	335 ( $\pm$ 71)	20,4 ( $\pm$ 4,7)	24,1 ( $\pm$ 4,6)	4,1 ( $\pm$ 1,0)	41,7 ( $\pm$ 12,4)	70,6 ( $\pm$ 19,4)
Omavauhtinen juoksu	806 ( $\pm$ 150)	44,0 ( $\pm$ 6,8)	51,9 ( $\pm$ 7,0)	8,7 ( $\pm$ 1,5)	104,8 ( $\pm$ 16,9)	151,2 ( $\pm$ 28,6)

### 7.3 Kiihtyvyyden ja fyysisen kuormittavuuden välinen suhde

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä selvitettiin kiihtyvyyssarvojen ja absoluuttisesti sekä suhteellisesti kuvatun fyysisen kuormittavuuden välistä korrelaatio mitattuina kuormituksetaan eritasoisista tehtävistä. MET-arvoina esitetyn absoluuttisen energiankulutuksen ja kiihtyvyyden välillä havaittiin olevan vahva lineaarinen korrelaatio (0,809,  $p < 0.01$ ), kun kaikki kahdeksan tehtävää otettiin huomioon (kuva 13). Korrelaatio oli voimakas kiihtyvyyden ja



absoluuttisen kuormituksen välillä myös, kun kuormitus esitettiin rasvattomaan massaan suhteutettuna hapenkulutuksena (0,831,  $p < 0.01$ ).



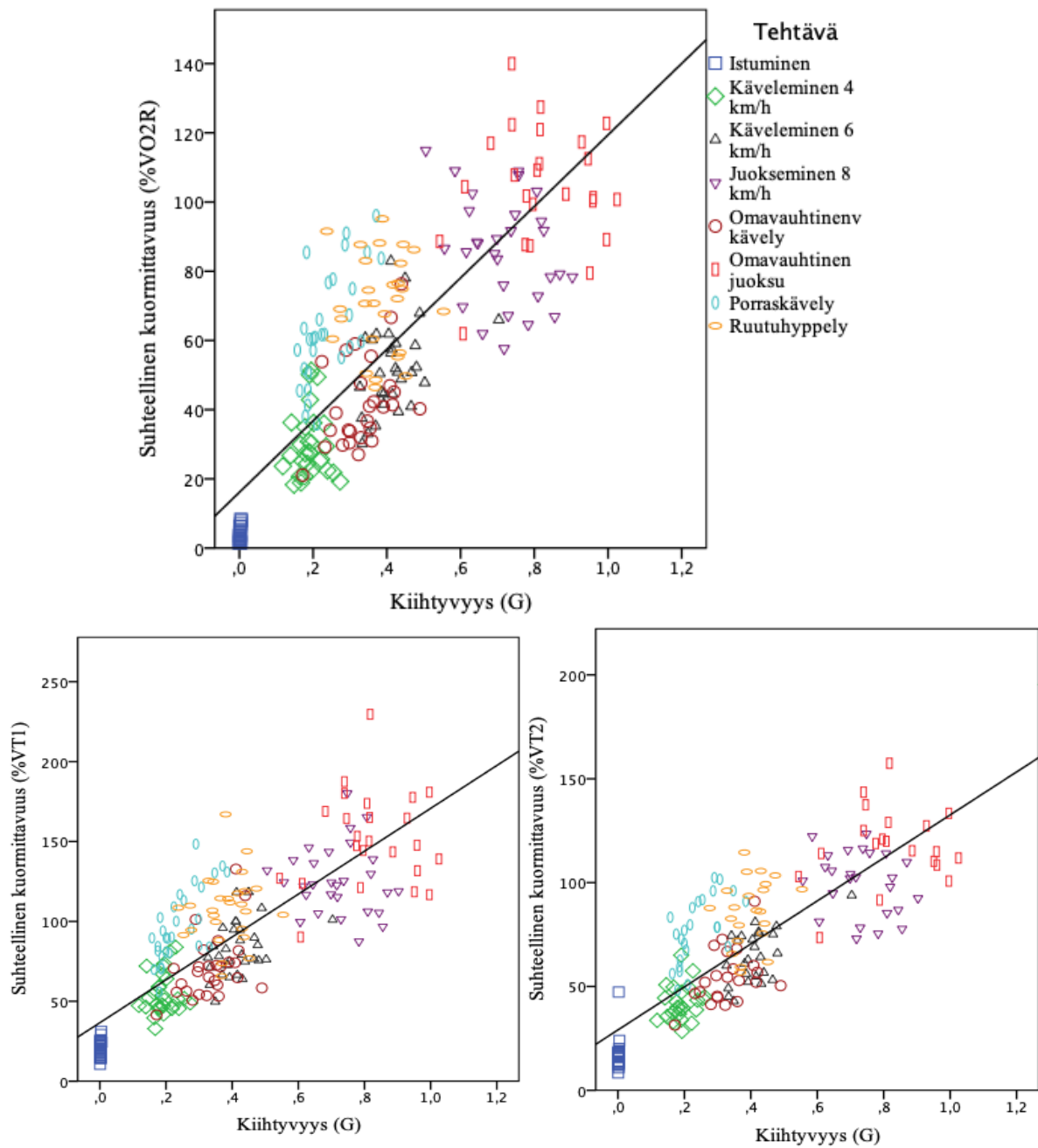
KUVA 13. Energiankulutuksen (MET) ja kiihtyvyyssarvojen (G) korrelaatio kuormitukseltaan eritasoisissa tehtävissä ( $r=0,809$ ,  $p < 0,01$ ).

Taulukkoon 7 on kerätty korrelaatio energiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen välillä, kun huomioon otetaan kaikki tehtävät tai vain osa tehtävistä. Korrelaatio oli korkein, kun porraskävely ja ruutuhyppely jätettiin huomioimatta. Kun korrelaatio laskettiin juoksua ja kävelyä sisältäville tehtäville, oli se hieman korkeampi kuin kaikille tehtäville yhteensä.

TAULUKKO 7. Korrelaatio energiankulutuksen (MET) ja kiihtyvyyssarvojen välillä, kun analyysiin otetaan mukaan kaikki tai vain osa tehtävistä.

Tehtävät (tehtävien lukumäärä)	Korrelaatiokerroin	p-arvo
Kaikki tehtävät (8)	0,809	<0,001
Istuminen+kävely ja juoksu (6)	0,928	<0,001
Kävely ja juoksu (5)	0,879	<0,001

Kiihtyvyys korreloi vahvasti kuormittavuuden kanssa, kun kuormittavuutta kuvattiin suhteessa ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen (0,808,  $p<0,01$ ), suhteessa toiseen ventilaatiokynnykseen (0,824,  $p<0,01$ ) tai suhteessa hapenottokyvyn reserviin (0,806,  $p<0,01$ ) (Kuva 13).



KUVA 13. Ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen (%VT1,  $r=0,808$ ,  $p<0,01$ ), toiseen ventilaatiokynnykseen ( $r=0,824$ ,  $p<0,01$ ) ja hapenottokyvyn reserviin suhteutetun kuormittavuuden (%VO<sub>2</sub>R,  $r=0,806$ ,  $p<0,01$ ) ja kiihtyvyyssarvojen (G) suhde kuormitukseltaan eritasoisissa tehtävissä.

#### **7.4 Energiankulutus ja kiihtyvyys eri aktiviteeteissa kuntoryhmittäin**

Toisessa tutkimuskysymyksessä vertailtiin lasten kuormittumista eri tehtävissä kuntoryhmittäin, kun kuormitus esitetään absoluuttisesti kiihtyvyys- ja MET-arvoina tai suhteessa ensimmäiseen ventilaatiokynnökseen ja hapenottokyvyn reserviin.

Kestävyyskunnoltaan parhaimmat tutkittavat sijoitettiin ryhmään yksi ja ryhmään kolme puolestaan kestävyyskunnoltaan heikoimmat tutkittavat. Ryhmät eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan, kun tarkasteltiin ikää, pituutta, painoa, rasvatonta massaa tai BMI<sub>SDS</sub>-lukua. Kaikki ryhmät erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ( $p < 0,05$ ) rasvattomaan massaan suhteutetun  $VO_{2peak}$ -arvon osalta. Ryhmät erosivat merkitsevästi toisistaan myös, kun katsottiin rasvattomaan massaan suhteutettua hapenkulutusta VT1:llä ( $p < 0,01$ ) ja VT2:lla ( $p < 0,001$ ) (taulukko 8).

TAULUKKO 8. Tutkittavien ominaisuuksien vertailu kuntoryhmien välillä. Hapenkulutuksen arvot ovat esitettyinä suhteessa kehon rasvattomaan massaan. Tulokset on esitetty muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta. Ero tilastollisesti merkitsevä: \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ .

Muuttuja	Ryhmä 1 (N=10)	Ryhmä 2 (N=10)	Ryhmä 3 (N=11)	p-arvo	Erot yksittäisten ryhmien välillä
Ikä (vuotta)	10,5 $\pm$ 1,4	9,8 $\pm$ 1,5	9,1 $\pm$ 1,3	0,101 <sup>a</sup>	1-2, p=0,816 1-3, p=0,101 2-3, p=0,859
Pituus (cm)	141,7 $\pm$ 11,0	135,2 $\pm$ 9,7	134,7 $\pm$ 6,6	0,188 <sup>a</sup>	1-2, p=0,446 1-3, p=0,269 2-3, p=1,000
Paino (kg)	33,0 $\pm$ 5,3	32,3 $\pm$ 6,6	29,7 $\pm$ 7,8	0,503 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=0,820 2-3, p=1,000
Rasvaton massa (kg)	28,8 $\pm$ 4,8	26,4 $\pm$ 4,5	25,0 $\pm$ 4,9	0,211 <sup>a</sup>	1-2, p=0,803 1-3, p=0,249 2-3, p=1,000
BMI <sub>SDS</sub>	-0,502 $\pm$ 0,605	0,023 $\pm$ 0,883	-0,573 $\pm$ 1,473	0,397 <sup>a</sup>	1-2, p=0,844 1-3, p=1,000 2-3, p=0,632
Vuosia PHV:hen	-2,101 $\pm$ 1,210	-2,414 $\pm$ 1,306	-2,735 $\pm$ 0,977	0,470 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=0,671 2-3, p=1,000
VO <sub>2peak</sub> (ml/kg/min)	55,8 $\pm$ 2,7	50,2 $\pm$ 0,8	45,0 $\pm$ 3,9	0,001 <sup>b**</sup>	1-2, p=0,042* 1-3, p<0,001*** 2-3, p=0,025*
VT1 (ml/kg/min)	39,0 $\pm$ 4,6	35,9 $\pm$ 3,0	30,8 $\pm$ 3,6	<0,001 <sup>b***</sup>	1-2, p=0,905 1-3, p=0,001** 2-3, p=0,035***
VT2 (ml/kg/min)	48,9 $\pm$ 3,9	44,4 $\pm$ 3,0	34,6 $\pm$ 13,2	<0,001 <sup>b***</sup>	1-2, p=0,107 1-3, p<0,001*** 2-3, p=0,100

<sup>a</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin yksisuuntaista varianssianalyysiä

<sup>b</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin Kruskal-Wallis testiä

<sup>c</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin toistomittausten varianssianalyysiä.

Kuntoryhmien välillä ei ollut eroja kiihtyvyyssarvoissa ( $p=0,819$ ) tai absoluuttista energiankulutusta kuvaavissa MET-arvoissa ( $p=0,314$ ), kun kaikkia tehtäviä tarkasteltiin yhdessä. Kuntoryhmien välillä sen sijaan oli eroja, kun kaikkien tehtävien kuormitusta tarkasteltiin suhteessa ensimmäiseen ( $p<0,001$ ) ja toiseen ventilaatiokynnykseen ( $p<0,05$ ) sekä suhteessa hapenottokyvyn reserviin ( $p<0,001$ ). Tarkempi tarkastelu osoitti, että %VT1-arvon osalta eroja oli ensimmäisen ja kolmannen sekä toisen ja kolmannen ryhmän välillä. Ensimmäisen ja toisen ryhmän välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. %VT2-arvon kohdalla ero oli tilastollisesti merkitsevä ensimmäisen ja kolmannen ryhmän välillä, mutta ei muiden ryhmien osalta. Suhteessa hapenottokyvyn (%VO<sub>2</sub>R) erot olivat merkitseviä ensimmäisen ja toisen sekä ensimmäisen ja kolmannen ryhmän välillä. (Taulukko 9.)

TAULUKKO 9. Kaikista tehtävistä laskettu keskiarvo kuormitusta kuvaaville muuttujille kuntoryhmittäin. Tulokset on esitetty muodossa keskiarvo (95 %:n luottamusväli). Ero tilastollisesti merkitsevä: \*= p<0.05, \*\*= p<0.01, \*\*\*= p<0.001.

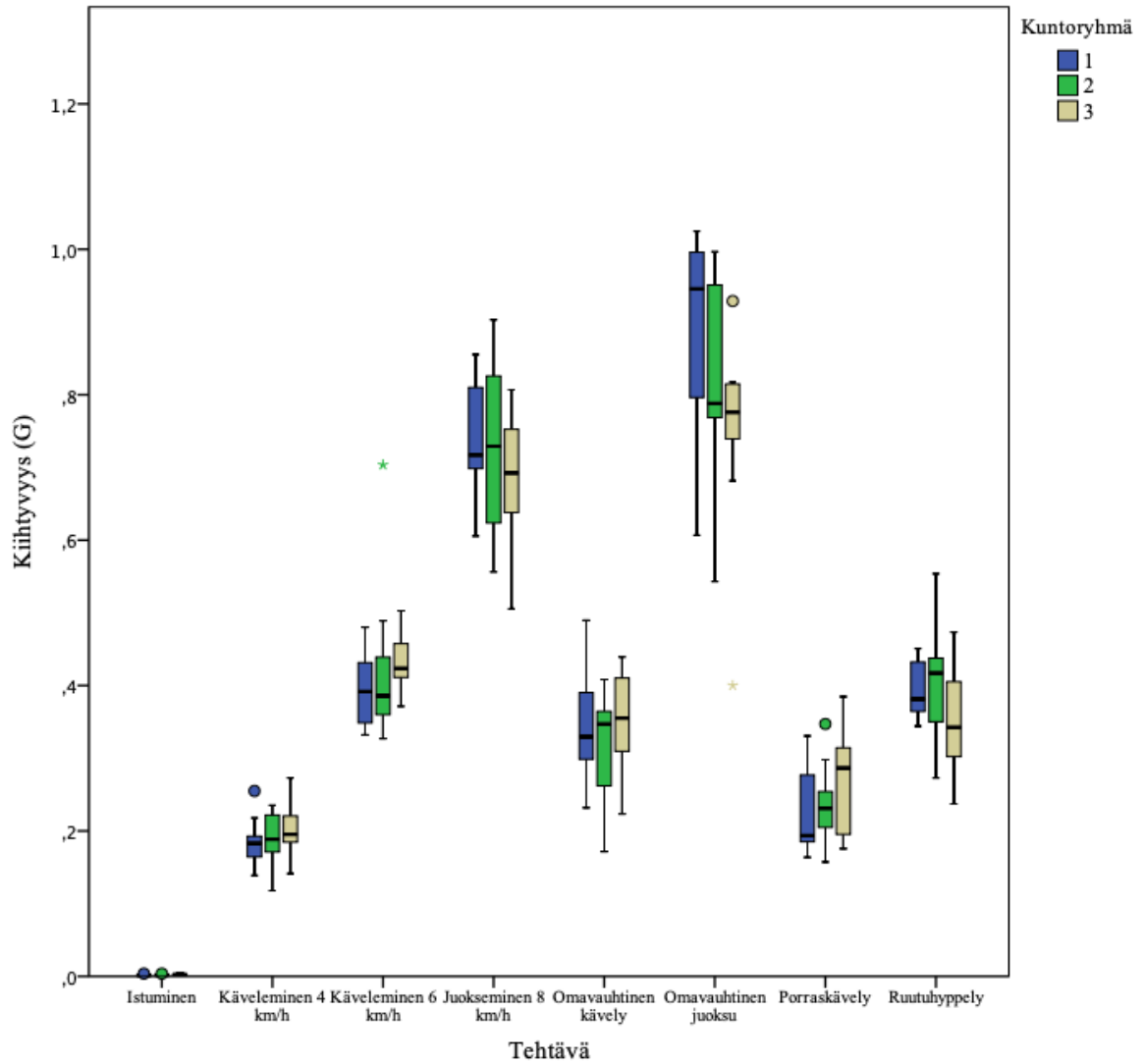
<b>Muuttuja</b>	<b>Ryhmä 1 (N=10)</b>	<b>Ryhmä 2 (N=10)</b>	<b>Ryhmä 3 (N=11)</b>	<b>p-arvo</b>	<b>Erot yksittäisten ryhmien välillä</b>
Kiihtyvyys (G)	0,391 (0,361-0,420)	0,390 (0,363-0,417)	0,380 (0,356-0,405)	0,819 <sup>c</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=1,000 2-3, p=1,000
MET	4,904 (4,4-5,4)	5,485 (4,9-6,1)	5,125 (4,6-5,7)	0,314 <sup>c</sup>	1-2, p=0,405 1-3, p=1,000 2-3, p=1,000
%VT1	75,7 (68,8-82,6)	85,0 (77,7-92,5)	102,1 (94,3-109,1)	<0,001 <sup>c***</sup>	1-2, p=0,201 1-3, p<0,001*** 2-3, p=0,011*
%VT2	62,0 (56,0-68,0)	69,5 (63,6-75,4)	76,5 (69,5-83,6)	0,130 <sup>c</sup>	1-2, p=0,227 1-3, p=0,012* 2-3, p=0,373
%VO2R	47,6 (43,4-51,9)	55,8 ±2,2 (51,2-60,3)	63,1 ±2,2 (58,6-67,7)	<0,001 <sup>c***</sup>	1-2, p=0,039* 1-3, p<0,001*** 2-3, p=0,081

<sup>a</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin yksisuuntaista varianssianalyysiä

<sup>b</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin Kruskal-Wallis testiä

<sup>c</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin toistomittausten varianssianalyysiä.

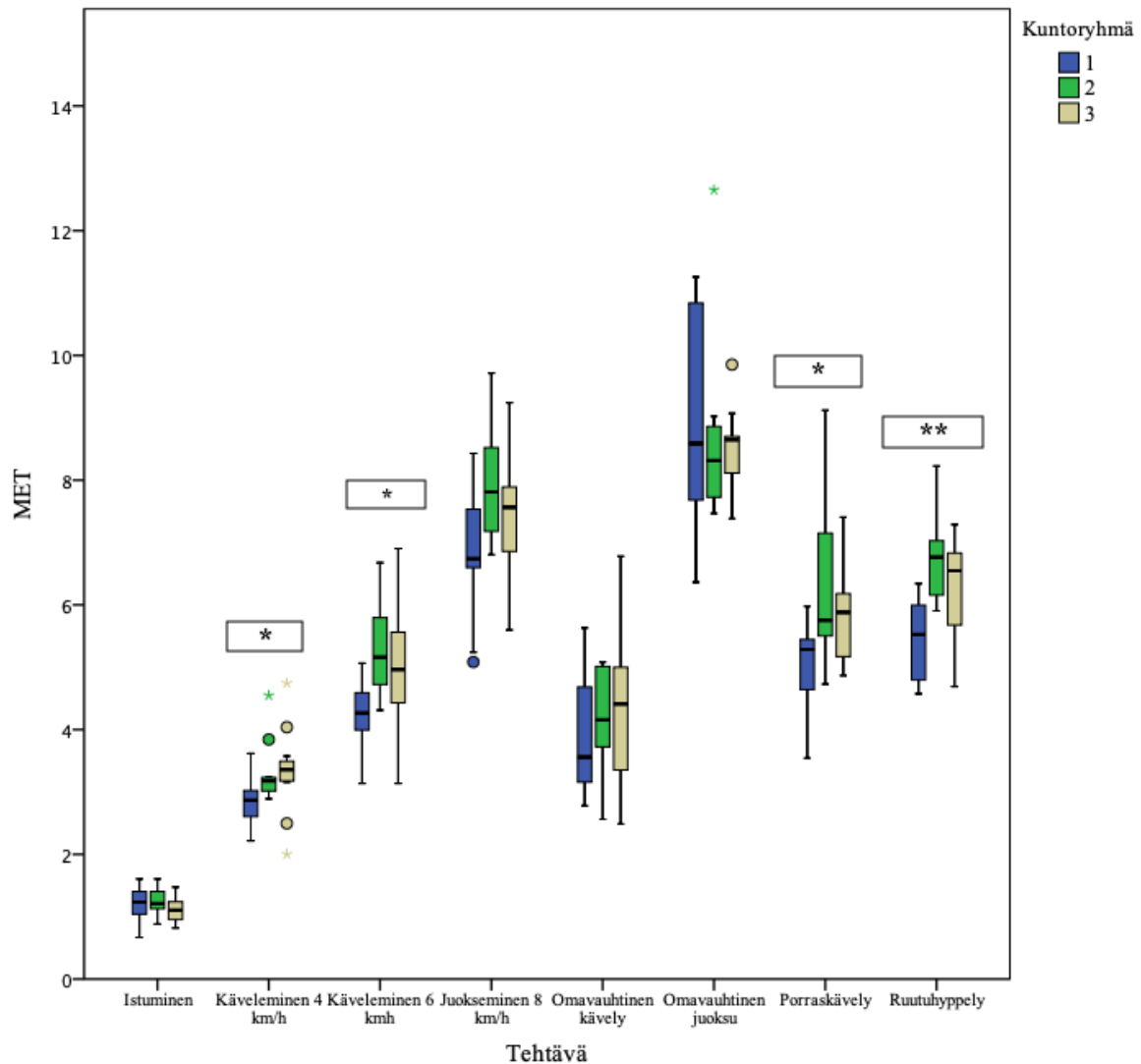
Tarkempi tarkastelu kiihtyvyyssarvojen eroissa kuntoryhmien välillä osoitti, ettei missään yksittäisessä tehtävässä myöskään ollut eroja kiihtyvyyssarvoissa ryhmien välillä. Kuvassa 14 on esitettyinä kiihtyvyyssarvot kuntoryhmittäin eri tehtävissä.



KUVA 14. Kiihtyvyyssarvojen vertailu kuntoryhmien välillä eri tehtävissä. Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: ●= yli 1,5 kvartiilivälin ja \*= yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alakvartiilista.

MET-arvoissa ei ollut eroja ryhmien välillä, kun kaikkia tehtäviä tarkasteltiin yhdessä (taulukko 9). Sen sijaan tehtäväkohtaisesti tarkasteltuna MET-arvot poikkesivat kuntoryhmien 1 ja 2 välillä merkitsevästi kolmen tehtävän osalta (kävely 6 km/h, porraskävely ja ruutuhoppely). Ryhmät 1 ja 3 erosivat tosistaan merkitsevästi 4 km/h kävely osalta. Muissa yksittäisissä tehtävissä ei MET-arvoissa havaittu ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevää eroa (kuva 15)

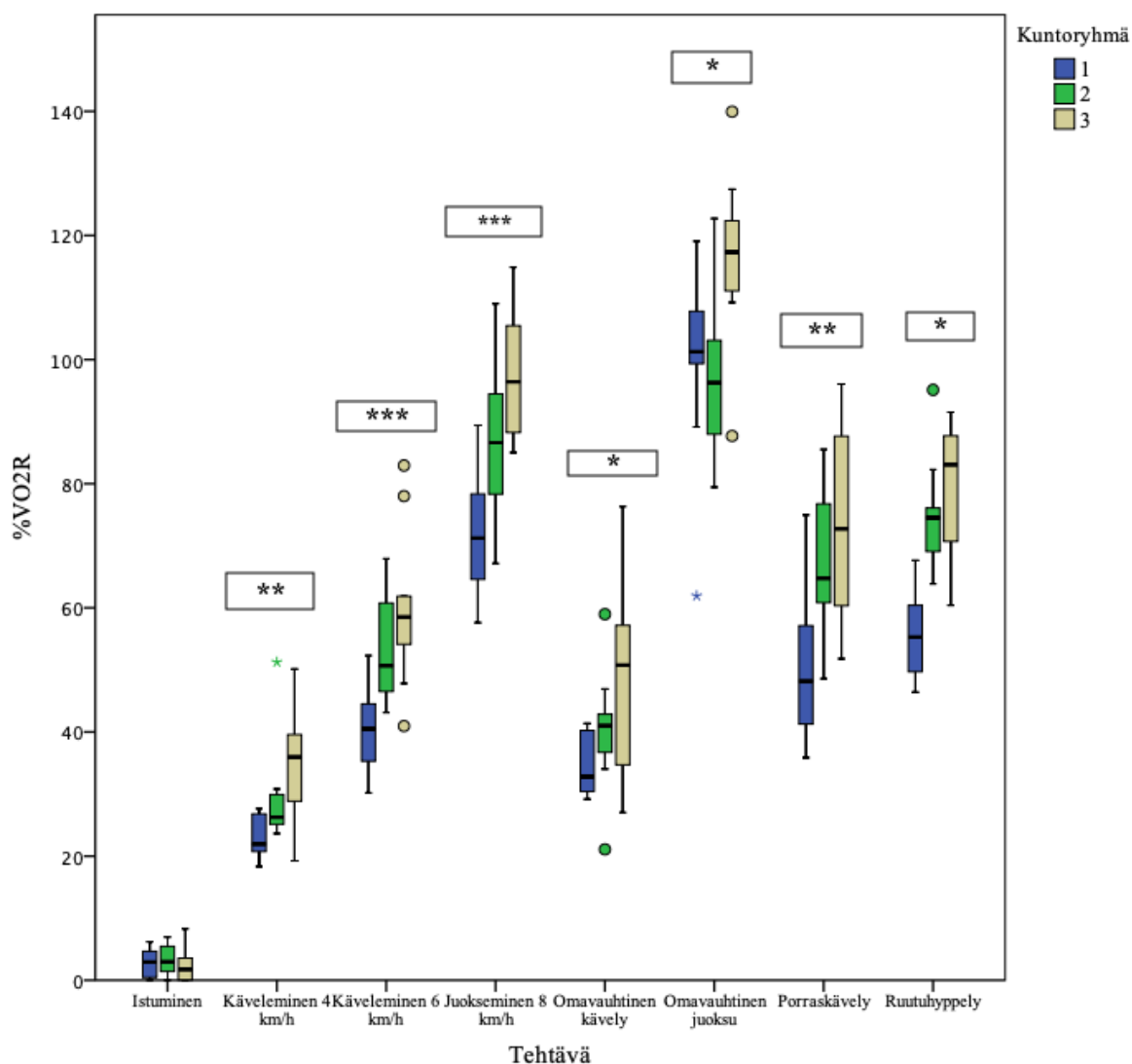




KUVA 15. MET-arvojen vertailu kuntoryhmien välillä eri tehtävissä. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä: \*= p<0.05, \*\*= p<0.01, \*\*\*= p<0.001. Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: ●= yli 1,5 kvartiilivälin ja \* = yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alkvartiilista.

Kun tarkasteltiin suhteellista kuormittavuutta kuvaavia muuttujia (%VT1 ja %VO<sub>2</sub>R), ryhmät erosivat toisistaan kaikissa muissa tehtävissä paitsi istumisessa. Istumisen osalta ei havaittu kuntoryhmien välillä eroa minkään kuormittavuutta kuvaavan muuttujan osalta. Kun kuormittavuus suhteutettiin hapenottokyvyn reserviin (%VO<sub>2</sub>R), ryhmät 1 ja 3 erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan lukuun ottamatta omavauhtista juoksua, jossa ainoastaan ryhmien 2 ja 3 tulokset poikkesivat toisistaan. Tämän lisäksi ryhmien 1 ja 2 tulokset erosivat myös

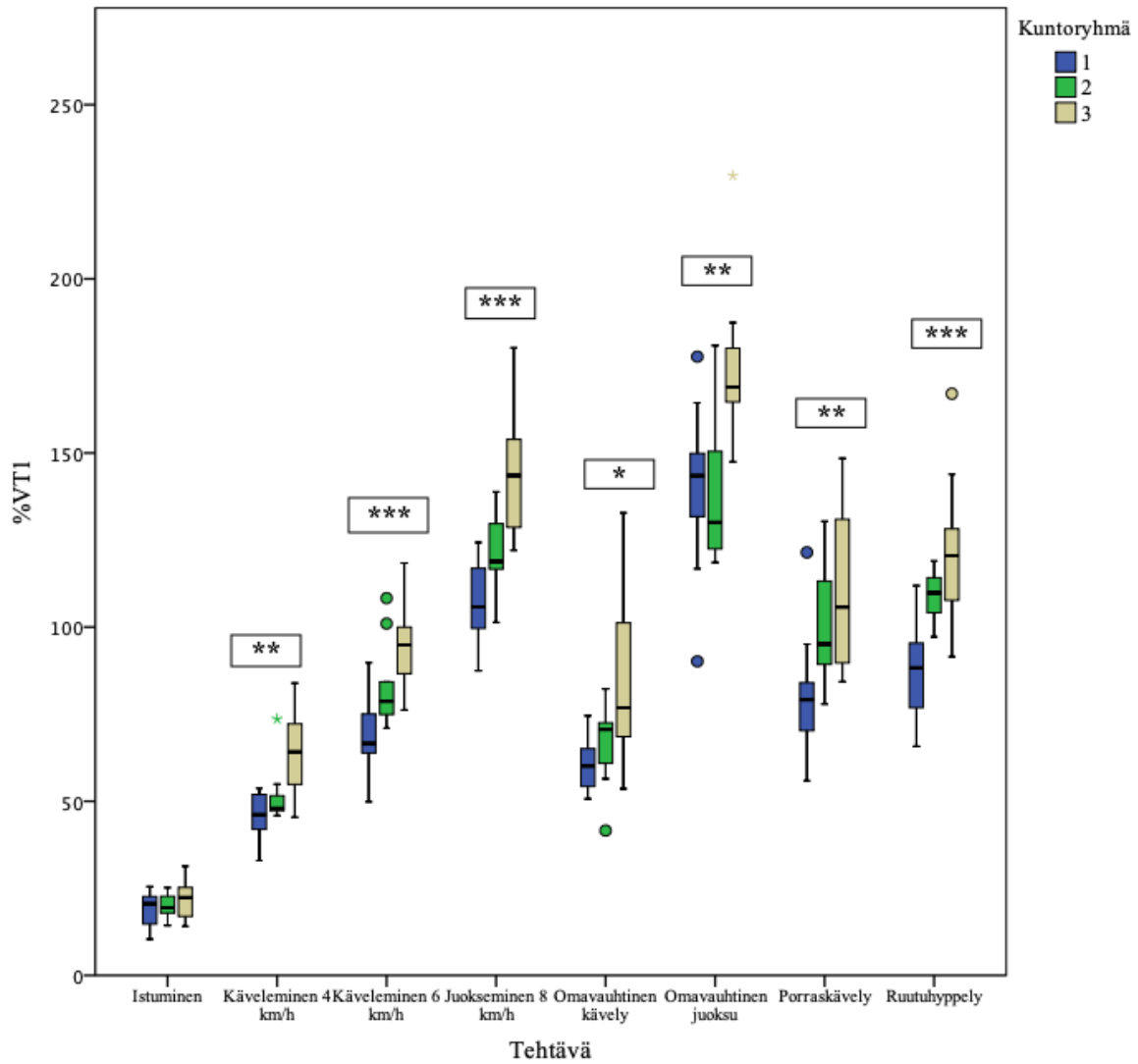
merkitsevästi neljässä tehtävässä, jotka olivat porraskävely, juoksu 6 ja 8 km/h sekä ruutuhyppely (kuva 16).



KUVA 16. Hapenottokyvyn reserviin suhteutetun kuormittavuuden vertailu kuntoryhmien välillä eri tehtävissä. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä: \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ . Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: ● = yli 1,5 kvartiilivälin ja ○ = yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alakvartiilista.

Myös VT1:een suhteutetun kuormittavuuden osalta ryhmät 1 ja 3 erosivat merkitsevästi toisistaan seitsemän tehtävän osalta. Omavauhtisessa juoksussa ei yksittäisten ryhmien välillä

havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa. Ryhmät 1 ja 2 erosivat toisistaan 8 km/h juoksun ja ruutuhyppelyn osalta (kuva 17).

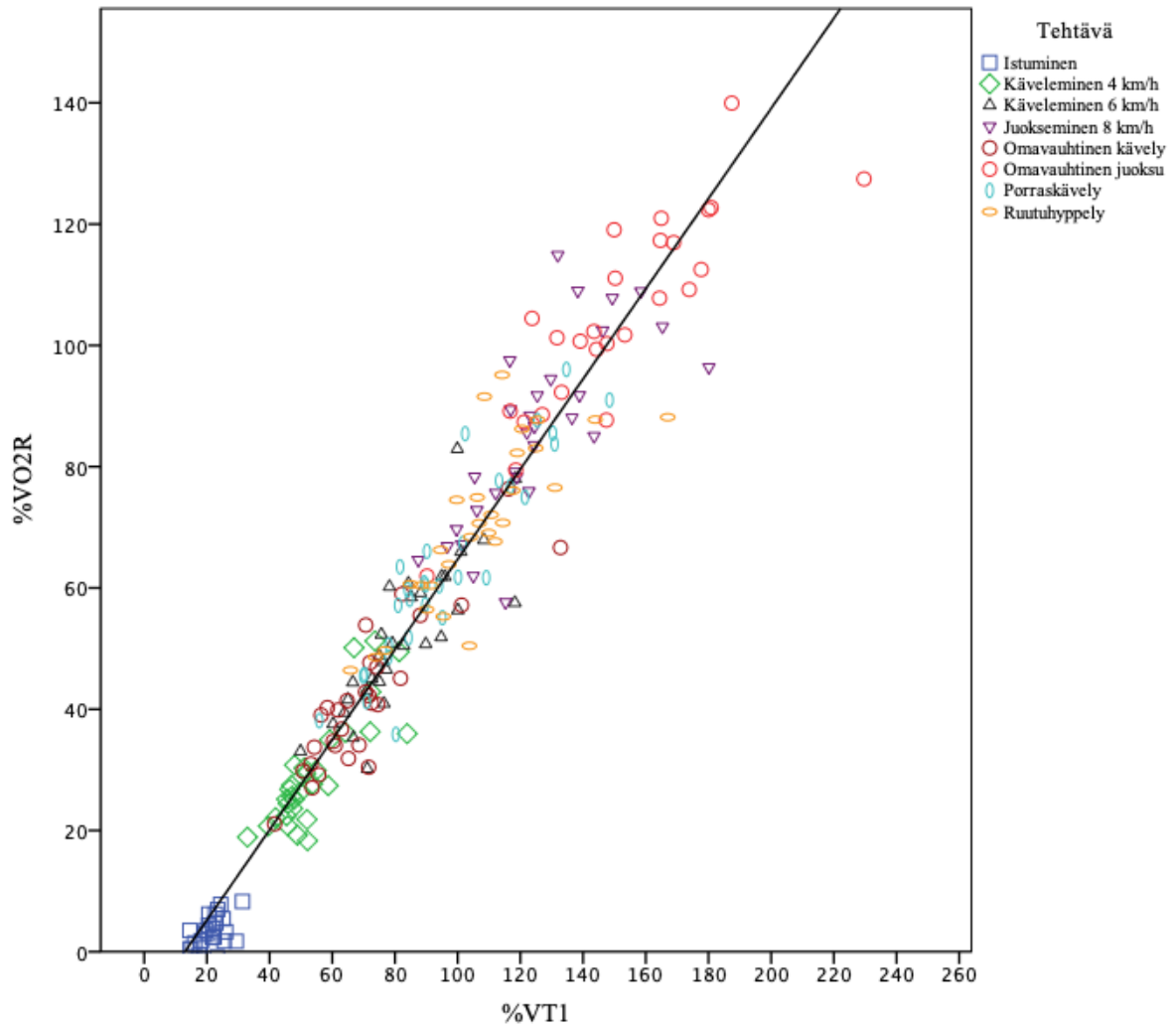


KUVA 17. Ensimmäiseen ventilaatiokynnukseen suhteutetun kuormituksen vertailu kuntoryhmien välillä eri tehtävissä. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä: \*=  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ . Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: ● = yli 1,5 kvartiilivälin ja \* = yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alakvartiilista.

## 7.5 Kuormittavuuden määrittäminen kestävyyskuntoon suhteutettuna

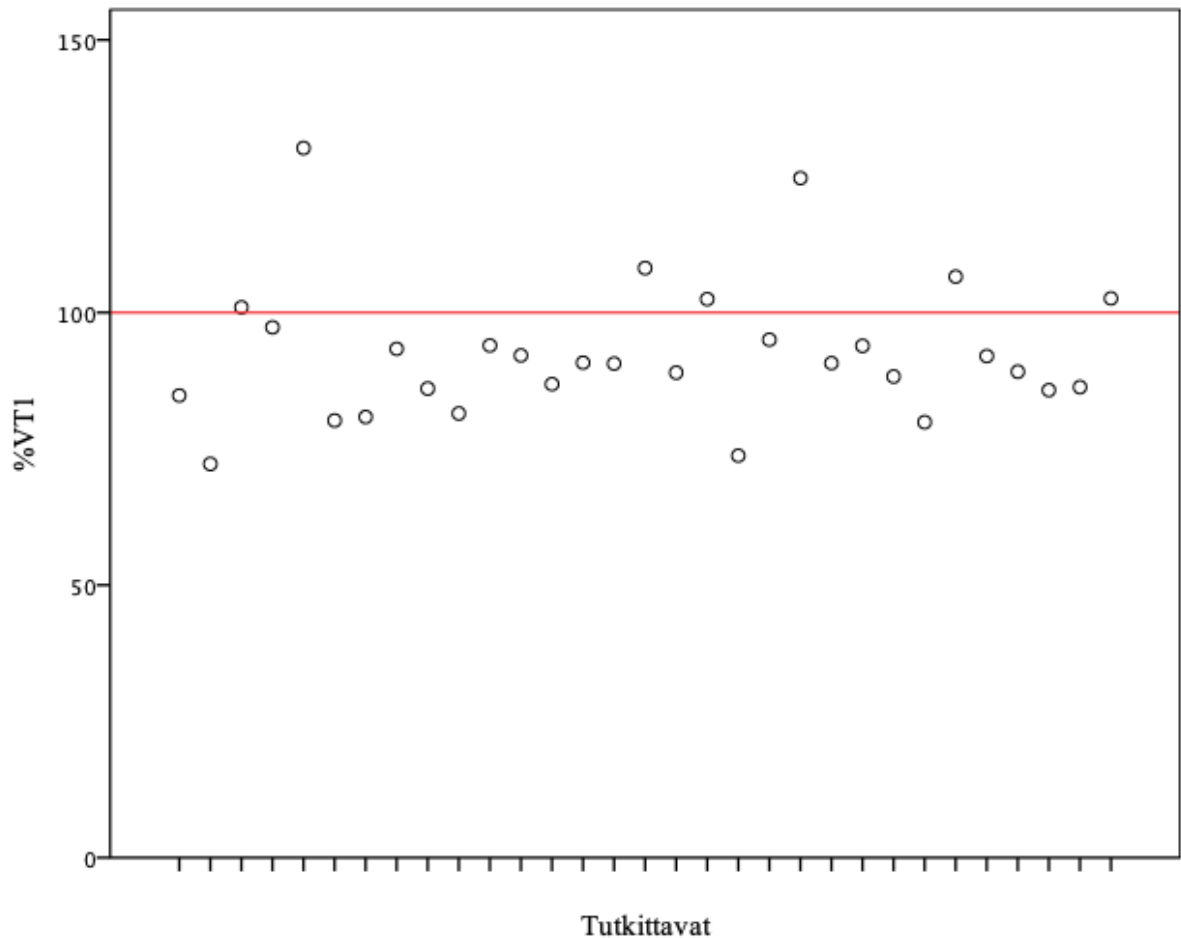
Kolmannessa tutkimuskysymyksessä vertailtiin kuormituksen suhteuttamista hapenottokyvyn reserviin ja ventilaatiokynnyksiin. Taulukossa 5 on esitetty vaihtelua hapenkulutuksen huippuarvossa, hapenkulutuksessa ventilaatiokynnyksillä sekä ventilaatiokynnysten prosentuaalisessa osuudessa hapenottokyvyn reservistä tutkittavien välillä. Taulukosta huomataan, että VT1 saavutettiin keskimäärin noin 70% hapenkulutuksella  $VO_2R$ :stä. Kun samaa tarkasteltiin yksilötasolla, lapset saavuttivat VT1:n 46–83% hapenkulutuksella  $VO_2R$ :stä.

Kuvassa 18 on esitetty suhteellista kuormittavuutta kuvaavien muuttujien yksittäiset arvot eri tehtävissä. X-akselilla on hapenkulutus suhteutettuna ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen ja y-akselilla hapenkulutus suhteutettuna hapenottokyvyn reserviin. Kuvasta voidaan tarkastella yksittäisten tulosten hajontaa ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen suhteutettuna, kun työskennellään tietyllä kuormitustasolla suhteessa hapenottokyvyn reserviin tai toisaalta hajontaa suhteessa hapenottokyvyn reserviin, kun työskennellään tietyllä kuormituksen tasolla suhteessa ventilaatiokynnykseen. Muuttujien välillä vallitsi vahva lineaarinen korrelaatio (0,976,  $p < 0,001$ ). Hajonta näyttäisi lisääntyvän muuttujien välillä kuormituksen kasvaessa. Kun tutkitavat työskentelivät 40 % kuormittavuudella suhteessa hapenottokyvyn reserviin, oli kuormitus keskimäärin noin 62 % VT1:stä ja hajonta  $\pm 8,4$ . Kun kuormitus oli 60 %  $VO_2R$ :stä, oli kuormitus keskimäärin 92,6%:n tasolla ventilaatiokynnyksestä ja hajonta  $\pm 12,7$ .



KUVA 18. Kuormitus eri tehtävissä esitettynä suhteessa hapenottoyvyn reserviin (%VO<sub>2</sub>R) sekä ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen (%VT1) ( $r=0,976$ ,  $p<0,001$ ).

Kuvassa 19 kuormitusta on kuvattu yksilötasolla suhteessa kestävyyskuntoon. 60 %:n kuormitustasolla suhteessa VO<sub>2</sub>R:iin 24 tutkittavaa työskenteli alle ja 7 tutkittavaa yli ensimmäisen ventilaatiokynnyksen. Keskimäärin tutkittavat työskentelivät 92,6 %:n tasolla ensimmäisestä ventilaatiokynnyksestä ja keskihajonta oli  $\pm 12,7$ .



KUVA 19. Kuormitus suhteessa ventilaatiokynnykseen, kun kaikki tutkittavat työskentelivät 60 %:n tasolla suhteessa  $VO_2R$ :iin.

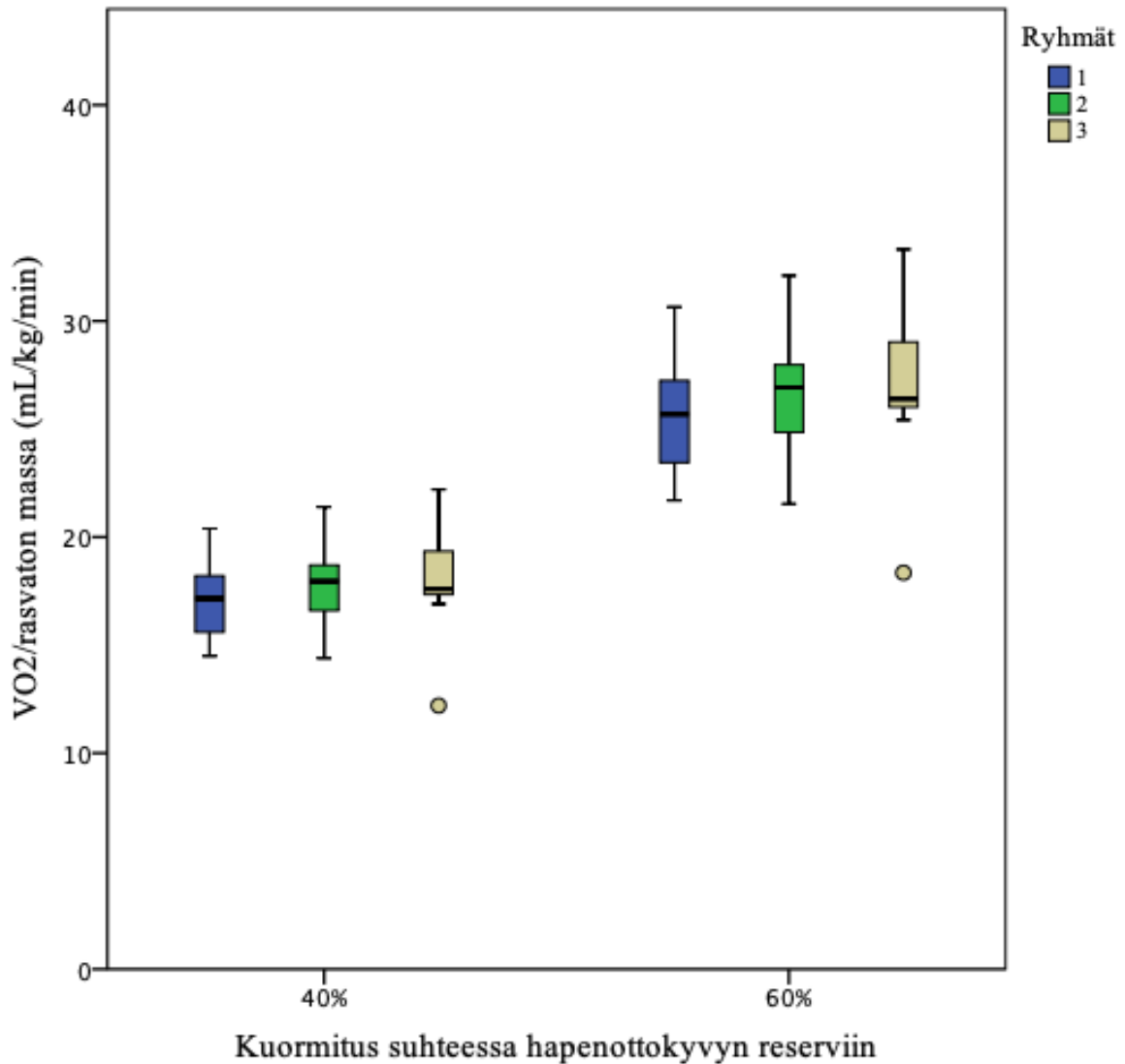
Kuormituksen suhteuttamista hapenottoyvyn reserviin ja ventilaatiokynnyksiin vertailtiin myös jakamalla tutkittavat kolmeen ryhmään perustuen tutkittavien hapenkulutukseen suhteessa ventilaatiokynnykseen 60 %:n ja 40 %:n kohdalla hapenottoyvyn reservistä. Ryhmään yksi tuli tutkittavat, joiden hapenkulutus oli näissä kohdissa korkein suhteessa VT1:een. Ryhmät eivät eronneet toisistaan iän, pituuden, painon,  $BMI_{SDS}$ -arvon, rasvattoman massan tai  $VO_{2peak}$ -arvon osalta taulukko 10). Sen sijaan ryhmät erosivat toisistaan merkitsevästi ( $p < 0,001$ ), kun tarkasteltiin hapenkulutusta VT1:llä absoluuttisesti tai suhteessa hapenottoyvyn reserviin (taulukko 10). Ryhmien välillä ei myöskään ollut eroa absoluuttisessa hapenkulutuksessa 40 % ja 60 %:n tasoilla  $VO_2R$ :stä. (Kuva 20).

TAULUKKO 10. Suhteellisen kuormituksen mukaan jaettujen ryhmien ominaisuudet esitettyinä muodossa keskiarvo  $\pm$ keskihajonta. Hapenkulutuksen arvot on esitetty suhteessa rasvattomaan massaan. Ero tilastollisesti merkitsevä: \* =  $p < 0.05$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \*\*\* =  $p < 0.001$ .

Muuttuja	Ryhmä 1 (N=10)	Ryhmä 2 (N=10)	Ryhmä 3 (N=11)	p-arvo	Erot yksittäisten ryhmien välillä
Ikä (vuotta)	9,7 $\pm$ 1,6	10,3 $\pm$ 1,0	9,3 $\pm$ 1,6	0,253 <sup>a</sup>	1-2, p=0,950 1-3, p=1,000 2-3, p=0,307
Pituus (cm)	139,0 $\pm$ 9,5	139,3 $\pm$ 6,2	133,9 $\pm$ 1,3	0,346 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=0,677 2-3, p=0,603
Paino (kg)	30,7 $\pm$ 6,7	33,4 $\pm$ 7,2	30,8 $\pm$ 6,3	0,580 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=1,000 2-3, p=1,000
BMI <sub>SDS</sub>	-0,9 $\pm$ 1,3	-0,3 $\pm$ 1,0	0,0 $\pm$ 0,7	0,138 <sup>a</sup>	1-2, p=0,587 1-3, p=0,154 2-3, p=1,000
Rasvaton massa (kg)	27,0 $\pm$ 5,4	27,7 $\pm$ 3,6	25,4 $\pm$ 5,4	0,556 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=1,000 2-3, p=0,844
Vuosia PHV:hen	-2,7 $\pm$ 0,4	-2,0 $\pm$ 0,3	-2,6 $\pm$ 0,4	0,333 <sup>a</sup>	1-2, p=0,578 1-3, p=1,000 2-3, p=0,617
VO <sub>2peak</sub> (ml/kg/min)	49,4 $\pm$ 4,8	50,0 $\pm$ 4,9	51,0 $\pm$ 6,3	0,780 <sup>a</sup>	1-2, p=1,000 1-3, p=1,000 2-3, p=1,000
VT1 (ml/kg/min)	30,9 $\pm$ 3,5	35,0 $\pm$ 3,4	39,1 $\pm$ 4,5	<0,001 <sup>a***</sup>	1-2, p=0,068 1-3, p<0,001 <sup>***</sup> 2-3, p=0,064
VT1% VO <sub>2R</sub>	57,1 $\pm$ 5,9	66,0 $\pm$ 1,4	73,8 $\pm$ 4,8	<0,001 <sup>b***</sup>	1-3, p<0,001 <sup>***</sup> 1-2, p=0,042 <sup>*</sup> 2-3, p<0,025 <sup>*</sup>

<sup>a</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin yksisuuntaista varianssianalyysii

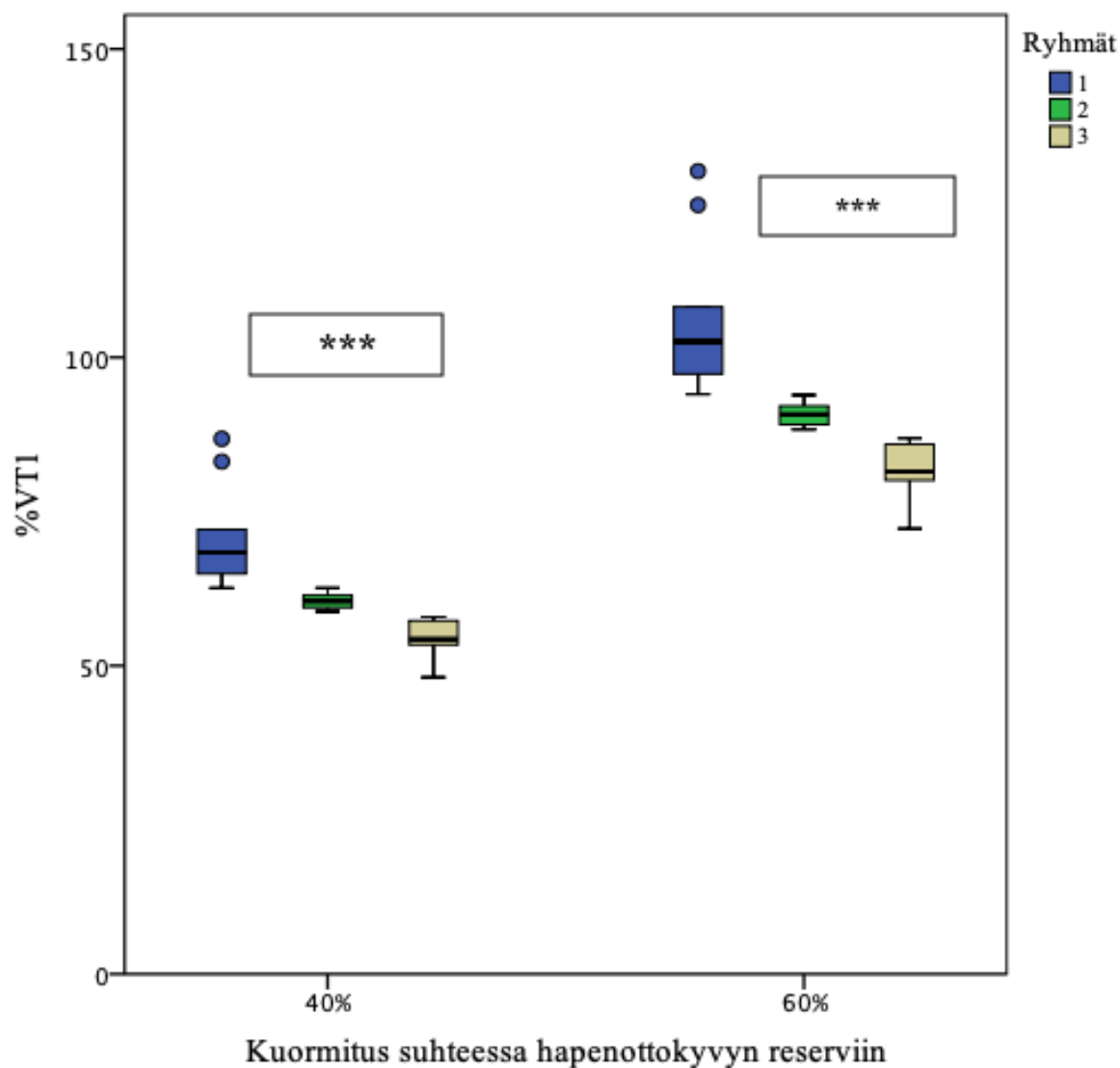
<sup>b</sup>= Tilastolliseen testaamiseen käytettiin Kruskal-Wallis testiä



KUVA 20. Absoluuttinen hapenkulutus eri ryhmissä 40 % ja 60 %:n kuormituksella suhteessa hapenkulutuksen reserviin. Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: •= yli 1,5 kvartiilivälin ja \*= yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alakvartiilista.

Ryhmät kuitenkin erosivat merkitsevästi toisistaan ( $p < 0,001$ ), kun kuormitusta tarkasteltiin suhteessa ventilaatiokynnykseen 40 % ja 60 %:n kuormitustasoilla  $VO_2R$ :stä. (kuva 21). Tuloksen perusteella samalla hapenottokyvyn reserviin suhteutetulla kuormituksella työskennellessään voi osa lapsista työskennellä merkitsevästi erilaisella kuormituksella suhteessa ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen.





KUVA 21. Ryhmien välinen vertailu ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen suhteutetussa kuormituksessa, kun kaikki työskentelevät 40 % tai 60 %:n kuormituksella hapenottokyvyn reservistä. Tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä: \*\*\*=  $p < 0,001$ . Ryhmän tuloksista merkitsevästi poikkeavat arvot: ●= yli 1,5 kvartiilivälin ja \* = yli 3 kvartiilivälin päässä ylä- tai alakvartiilista.

## 8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millainen on energiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen suhde alakouluikäisillä lapsilla, kun he suorittavat kuormitukseltaan eritasoisia aktiviteetteja. Toiseksi haluttiin selvittää, kuinka hyvin kiihtyvyyssarvot kykenevät kuvaamaan kestävyyskuntoaan eritasoisten lasten fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa yksilöllistä kuormittavuutta. Lisäksi vertailtiin kuormittavuuden suhteuttamista hapenottokyvyn reserviin ja ventilaatiokynnyksiin. Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen välillä havaittiin voimakas korrelaatio mitatuissa tehtävissä. Tulokset osoittivat kuitenkin, että kiihtyvyyssarvot eivät kykene erottelmaan kuormitusta, kun sitä katsotaan kestävyyskuntoon suhteutettuna. Lisäksi havaittiin, että vaikka lapset työskentelevät samassa suhteessa hapenottokyvyn reserviin, voi kuormitus suhteessa ensimmäiseen ventilaatiokynnykseen vaihdella yksilöiden välillä.

### 8.1 Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhde eri tehtävissä

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä tarkasteltiin kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhdetta eri tehtävissä. Kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen välillä havaittiin voimakas lineaarinen korrelaatio (0,809,  $p < 0,01$ ) kuormittavuudeltaan eritasoisissa tehtävissä. Kiihtyvyyssarvot lisääntyivät siis lineaarisesti suhteessa energiankulutuksen kasvuun suoritetuissa tehtävissä. Tulokset vastaavat aiempia tutkimustuloksia, joissa on löydetty korkeita korrelaatioita eri mittareilla ja erilaisissa tehtävissä mitatun kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välillä lapsilla (mm. Puayu 2004; Vanhelst ym. 2010). Tämän tutkimuksen tulokset osoittivat, että korrelaatio kiihtyvyyden ja kuormituksen välillä on voimakas myös, kun kuormitusta kuvataan rasvattomaan massa suhteutettuna hapenkulutuksena sekä suhteessa ventilaatiokynnyksiin tai hapenottokyvyn reserviin.

Kiihtyvyyssmittari ei kykene tarkasti mittaamaan esimerkiksi pintojen kaltevuuden, portaiden tai ulkoisen taakan aiheuttamaa energiankulutuksen lisäystä. Tämä nähdään konkreettisesti myös kuvassa 14, jossa portaissa kävely sijoittuu selvästi regressiosuoran yläpuolelle. Tämä tarkoittaa, että energiankulutus on tässä tehtävässä korkeampi suhteessa kiihtyvyyssarvoihin

muihin tehtäviin verrattuna. Myös ruutuhyppely saa omavauhtiseen kävelyyn nähden korkeampia energiankulutuksen arvoja samoilla kiihtyvyyksisarvoilla. Tähän vaikuttaa todennäköisesti porraskävelyn ja ruutuhyppelyn suoritustapa, joka sisälsi 10 sekunnin tauon jokaisen kierroksen välissä. Tauon aikana tutkittavien seistessä kiihtyvyyttä ei ole, mutta energiankulutus on vielä lepotilaan nähden kohonnut edellisestä suorituksesta johtuen. Tämä voi osittain selittää korkeamman energiankulutuksen suhteessa kiihtyvyyksisarvoihin näissä tehtävissä. Kun tehtävistä jätettiin pois porraskävely ja ruutuhyppely, oli korrelaatiokerroin energiankulutuksen ja kiihtyvyyden välillä 0,928. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että kiihtyvyyksimittarit kykenevät parhaiten arvioimaan tasaisella alustavalla tapahtuvaa juoksua ja kävelyä.

Energiankulutuksen ja kiihtyvyyden välinen selitysaste oli tulosten mukaan 0,65. Tämä tarkoittaa, että energiankulutuksen muutoksesta 65 % voidaan selittää kiihtyvyyksisarvojen muutoksella ja 35 % muutoksesta selittyy muilla tekijöillä. Näitä tekijöitä ovat yksilölliset erot tutkittavien ominaisuuksissa, mitkä vaikuttavat kiihtyvyyksisarvojen ja mitatun energiankulutuksen suhteeseen. Esimerkiksi painavamman kehon liikuttaminen johtaa suurempaan energiankulutukseen (Westerterp 2013). Toisaalta selkeä vyötärölihavuus voi johtaa myös lantiolta mitattujen kiihtyvyyksisarvojen suurenemiseen (Westerterp 1999; Freedson ym. 2005). Fyysisen aktiivisuuden energiankulutukseen vaikuttavat myös askeltiheys, kehon pinta-alan ja painon suhde sekä lihasten koaktivaation määrä. Näiden tekijöiden myötä liikkuminen muuttuu myös taloudellisemmaksi lasten kasvaessa. (Morgan 2000, 286–288.) Mitä heterogeenisemmasta tutkittavien ryhmästä on kysymys, sitä suurempi on vaihtelu absoluuttisten energiankulutus- ja kiihtyvyyksisarvojen välillä. Energiankulutuksen ja kiihtyvyyksisarvojen korrelaatioita tarkasteltaessa tulee aina huomioida tehtävien ja tutkittavien ominaisuuksien vaikutus mittauksiloksiin. Korrelaatiota käytettäessä täytyy muistaa, että vaikka se kuvaa kahden muuttujan välistä riippuvuutta, sen avulla ei kyetä havaitsemaan virheen suuntaa, aineistossa esiintyvää systemaattista harhaa tai aineiston varianssin suuruutta. (Corder & Ekelund 2008, 132.)

## 8.2 Absoluuttisen ja suhteellisen kuormittumisen vertailu eri kuntoryhmien välillä

Toisen tutkimuskysymyksen selvittämiseksi vertailtiin eri tehtävissä mitattuja kiihtyvyyssarvoja, absoluuttisia MET -arvoja sekä  $VO_2R$  -arvoon ja ventilaatiokynnyksiin suhteutettua kuormittavuutta kestävyyskunnoltaan eritasoisten lasten välillä. Tätä varten lapset jaettiin ryhmiin pyörätelissä mitatun hapenkulutuksen huippuarvon perusteella. Kiihtyvyyssarvoissa ei havaittu eroja ryhmien välillä. Kun katsottiin kaikkia tehtäviä yhdessä, absoluuttiset MET-arvot eronneet ryhmien välillä. Yksittäisissä tehtävissä eroja osan ryhmistä välillä oli neljässä eri tehtävässä (kävely 4 ja 6 km/h, porraskävely ja ruutuhyppely). Sen sijaan suhteellista kuormittavuutta kuvaavat muuttujat erosivat ryhmien välillä kaikissa muiden tehtävien paitsi istumisen osalta.

Tulokset ovat linjassa aiempien, tosin aikuisilla tehtyjen tutkimusten kanssa, joiden mukaan kuntotasoltaan eri tasoiset henkilöt voivat kuormittua suhteellisesti hyvinkin eri tavalla samoilla kiihtyvyyssarvoilla toimiessaan (Ozemek ym. 2013; Miller ym. 2010.) Tämä tarkoittaa, että kestävyyskunnoltaan eri tasoiset henkilöt saavuttavat tietyn suhteellisen kuormittavuuden tason eri kiihtyvyyssarvoilla. Heikomman kestävyyskunnan omaavaan lapsen ei tarvitse saavuttaa yhtä suuria kiihtyvyyssarvoja saavuttaakseen saman suhteellisen kuormittavuuden kuin parempikuntoinen lapsi. Lisäksi tuloksista nähdään, että perinteisesti fyysisen aktiivisuuden kuormituksen arvioinnissa käytettävissä MET-arvoissa ei ollut eroja erikuntoisten lasten välillä. Toisaalta, merkitseviä eroja löytyi, kun tarkasteltiin kestävyyskuntoon suhteutettuja muuttujia. Heikompi-kuntoiset lapset työskentelivät samoissa tehtävissä kovemmalla kestävyyskuntoon suhteutetulla kuormitustasolla verrattuna kovempikuntoisiin lapsiin.

Tulokset osoittavat, että absoluuttiset MET- tai kiihtyvyyssarvot eivät kykene erottelemaan yksilöllistä kuormittavuutta kestävyyskunnoltaan eritasoisilta lapsilta. Absoluuttisesti määritelty kuormittavuus yliarvioi liikunnan kuormittavuutta hyväkuntoisilla lapsilla ja toisaalta aliarvio heikompi-kuntoisten lasten kuormittumista. Tietyllä absoluuttisella kuormitustasolla työskenteläessä ovat myös vasteet fyysiselle aktiivisuudelle erilaiset erikuntoisten lasten välillä.

Tällöin absoluuttiset raja-arvot eivät välttämättä ole toimivia erottelemaan, mikä on yksilölle riittävä intensiteetti esimerkiksi terveyshyötyjen saavuttamiseksi.

Korkean kestävyyskunnan omaavien tutkittavien on suhteellisen helppo saavuttaa kohtuukuurmitteisen tai rasittavan fyysisen aktiivisuuden absoluuttiset raja-arvot. Heikompikuntoiset ja ylipainoiset yksilöt eivät puolestaan välttämättä edes kykene saavuttamaan absoluuttista rasittavan liikkumisen rajaa, koska heidän maksimaalinen tasonsa on tämän alapuolella. Väestötutkimuksissa tämä johtaa väistämättä siihen, että absoluuttisesti määritetyn rasittavan liikunnan yhteys ylipainoon korostuu. Suhteelliset raja-arvot ovat tärkeitä myös puhuttaessa liikkumisen tuomasta nautinnosta, sillä liikkumisesta nauttimisen on havaittu laskevan, kun kuormitus ylittää ensimmäisen ventilaatiokynnyksen tai laktaattikynnyksen. Kujala ym. (2017) korostavatkin, että suhteellinen kuormittavuus tulisi huomioida erityisesti, kun työskennellään fyysisen aktiivisuuden lisäämiseen tähtäävien toimien tärkeimmän kohderyhmä eli matalan kestävyyskunnan omaavien henkilöiden kanssa. Heikompikuntoisten on helpompi motivoitua liikkumaan omalle kunnolle sopivalla tasolla kuin pyrkiä absoluuttisiin raja-arvoihin, jotka ovat omaan kuntotasoon nähden liian rasittavia. (Kujala ym. 2017.)

Absoluuttisia raja-arvoja voidaankin pitää karkeana yleistyksenä ja mikäli mahdollista, tulisi yksilöllisiä kestävyyskuntoon ja kuormituksen aiheuttamiin fysiologisiin vasteisiin (kynnykset) perustuvia muuttujia käyttää fyysisen aktiivisuuden kuormittavuuden mittarina. Yhteenvetona kahdesta ensimmäisestä tutkimuskysymyksestä voidaan sanoa, että kiihtyvyyssarvojen perusteella voidaan melko tarkasti arvioida absoluuttista energiankulutusta, mutta kumpikaan edellä mainituista muuttujista ei ota huomioon yksilöiden välisiä eroja kestävyyskunnossa.

### **8.3 Kuormittavuus suhteessa kestävyyskuntoon**

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä tutkittiin kuormituksen suhteuttamista yksilöllisiin kestävyyskuntoa kuvaaviin muuttujiin. Siinä kuormituksen suhteuttamista hapenottokyvyn reserviin verrattiin kuormituksen suhteuttamiseen VT1:een. Tulokset osoittivat, että vaikka tutkittavat työskentelisivät samalla absoluuttisella kuormittavuudella ja samalla suhteellisella tasolla  $VO_2R$ :stä, he voivat työskennellä eri kuormittavuudella suhteessa kynnyksiin. Esimerkiksi

kuvasta 19 nähdään, että samalla hapenottokyvyn reserviin suhteutetulla kuormituksella (60 %  $VO_2R$ :stä) yksilöt voivat työskennellä eri puolilla ensimmäistä ventilaatiokynnystä.  $VO_{2peak}$ -arvon perusteella määritetty kestävyyskuntotaso ei selittänyt tätä eroa, vaan erot syntyivät ensimmäisen ventilaatiokynnyksen sijainnista suhteessa hapenkulutuksen huippuarvoon. Tutkittavat saavuttivat  $VT1$ :n 46,1–83,1 %:n kuormitustasolla suhteessa  $VO_2R$ :iin (taulukko 5), minkä perusteella on helppo ymmärtää erot vertailtaessa suhteuttamista  $VO_2R$ :iin ja  $VT1$ :een. Katch ym. (1978) ovat aiemmin osoittaneet, että kuormituksen ollessa sama suhteessa maksimiarvoihin, voi työskentely tapahtua eri puolilla kynnyksiä. Heidän tutkimuksessaan 17 tutkittavista työskenteli yli ja 14 alle anaerobisen kynnyksen, kun kaikki työskentelivät 80 %:n kuormitustasolla maksimisykkeeseen nähden. Kun kuormitus esitetään prosentteina maksimista, jäävät yksilölliset aineenvaihdunnalliset vasteet huomioimatta. Tällä taas on merkitystä suorituksen vaikutusten kannalta. Esimerkiksi Wolpern ym. (2015) raportoivat ventilaatiokynnysten mukaan harjoitelleiden onnistuneen kasvattamaan merkittävästi paremmin  $VO_{2max}$  -arvoaan verrattuna maksimisykkeeseen suhteutetuilla kuormituksilla harjoitteleviin tutkittaviin. (Wolpern ym. 2015.) Tarkemman yksilöllisen vaikuttavuuden saavuttamiseksi kynnysten käyttäminen liikkumisen ja harjoittelun kuormittavuuden suunnittelussa näyttäisi tehokkaammalta kuin yleisiin maksimitasoon perustuvien kuormitustasojen käyttäminen.

Mahon ym. (1997) saivat samankaltaisia tuloksia tämän tutkimuksen kanssa, kun he mittasivat maksimaalisen hapenottokyvyn ja määrittivät ensimmäisen ventilaatiokynnyksen 9:lle noin 10-vuotiaalle pojalle. Heidän tutkittavien  $VO_{2max}$  -arvo oli 47,4 ml/kg/min ja ventilaatiokynnys saavutettiin keskimäärin 67,2 %:n tasolla  $VO_{2max}$  -arvosta. Tässä tutkimuksessa kehon painoon suhteutetun  $VO_{2max}$ -arvo oli keskimäärin 42,7 ( $\pm 5,7$ ) ml/kg/min ja  $VT1$  saavutettiin keskimäärin 70 %:n ( $\pm 7,1$ ) tasolla  $VO_{2peak}$  -arvosta.

Tulokset osoittavat, että työskenneltäessä samassa suhteessa maksimitasoon voi yksilöllinen kuormitus silti olla eri tasolla, kun sitä tarkastellaan tarkemmin kynnysten kautta. Mikäli halutaan tarkasti kuvata fyysisen aktiivisuuden aiheuttamia fysiologisia vasteita ja varmistaa tavoiteltu harjoitusvaikutus, tulisi kuormittavuus ilmoittaa suhteessa ventilaatiokynnykseen maksimaalisen hapenottokyvyn tai hapenottokyvyn reservin sijaan. Ilman kynnysten määrittämistä

tutkittavien erilaiset fysiologiset vasteet tietylle maksimiin suhteutetulle kuormitukselle vaikuttavat lopputulokseen. Kynnysten kautta päästään tarkemmin käsiksi liikkumisen todellisiin fysiologisiin vasteisiin ja niiden yhteyksiin esimerkiksi terveyteen ja kehittymiseen.

#### **8.4 Tutkimuksen rajoitukset ja luotettavuuden arviointi**

Tutkimus sisältää lukuisia rajoitteita. Pieni tutkimusjoukko ei mahdollistanut vertailua poikien ja tyttöjen välillä. Myös tutkittavien määrä yhdeltä luokkatasolta jäi melko pieneksi. Tutkittavien valinta perustui vapaaehtoisuuteen. Tämä voi johtaa valikoitumisharhaan, minkä seurauksena kaikkein motivoituneimmat ja fyysisesti aktiivisemmat lapset osallistuvat tällaiseen tutkimukseen. Tässä tutkimuksessa tämä ei kuitenkaan ollut suuri ongelma, koska ei pyritty kuvaamaan fyysisen aktiivisuuden määriä tai kuntotasoja. Ryhmä oli kuitenkin riittävän heterogeeninen, jotta se kyettiin jakamaan kuntatasoltaan merkitsevästi eroaviin ryhmiin. Valikoitumisharhan vuoksi voidaan olettaa, että erot kestävyyskunnossa ovat yksilöiden välillä väestötasolla vieläkin suuremmat. Lintu ym. (2014) mittasivat maksimaalisen hapenottokyvyn polkupyöräergometritestiä käyttäen 140 lapselta (69 tyttöä), jotka olivat iältään 9–11 -vuotiaita. Rasvattomaan massa suhteutettu  $VO_{2peak}$ -arvo oli tytöillä keskimäärin 63,0 ml/kg/min ja pojilla 67,3 ml/kg/min. Tässä tutkimuksessa keskimääräinen rasvattomaan massa suhteutettu  $VO_{2peak}$ -arvo oli 50,2 ml/kg/min, eikä siis tähän tutkimukseen ole tämän perusteella valikoitunut erityisen kovakuntoisia lapsia.

Tutkittavien kestävyyskunto määritettiin polkupyöräergometritestiin perustuen. Pyörätestillä kyetään toistettavasti mittaamaan  $VO_{2peak}$ -arvo lapsilta ja nuorilta. Pyörätesti vaatii kuitenkin paljon voimaa alaraajoista etenkin nelipäisestä reisilihaksesta (*engl. quadriceps femoris*) ja suorituksen kesto on voimakkaasti yhteydessä lihasvoimaan. Isosta roolistaan pyörätestin aikana johtuen reisilihasten verenvirtaus myös estyy supistumisen seurauksena etenkin suorituksen loppuvaiheessa, jolloin voimantuoton tarve on suuri suhteessa lihasvoimaan. Tämä johtaa suurempaan anaerobiseen energiantuottoon, mikä puolestaan voi johtaa testin lopettamiseen lihaskivusta johtuen. Näistä seikoista johtuen pyörätestissä suorituksen on taipumus loppua ennemmin perifeerisistä kuin sentraalisista tekijöistä johtuen. Lapsille voi olla myös vaikeaa säilyttää

oikea polkemisfrekvenssi testin aikana. (Armstrong & Welsman 2008, 100.) Tämä näkyi myös tämän tutkimuksen testeissä. Suurimmalla osalla tutkittavista oikea polkemistahti löytyi kolmen minuutin lämmittelyn aikana. Osa ei kuitenkaan saanut sopivasta rytmistä kiinni lainkaan, mikä johti testin hylkäämiseen. Polkemisrytmin löytyminen oli vaikeampaa, mitä nuoremmista tutkittavista oli kysymys.

Pyörätestin onnistuminen määritettiin tässä tutkimuksessa riittävän suuren RER-arvon (hengitysosamäärä) (yli 1.10) ja tutkijan subjektiivisen arvion perusteella. Yleisimmin käytettyjä niin sanottuja sekundaarisia kriteereitä onnistuneen testin määrittämiseksi ovat olleet syke alle 10 lyöntiä tai 5 % alle ennustetun maksimisykkeen, veren laktaattikonsentraatio yli 8 mM ja RER-arvo yli 1,00, 1,10 tai 1,15. Laktaatin osalta konsentraatiota 6-9 mmol/L on pidetty maksimaalisen testin kriteerinä lapsilla (Armstrong & Welsman 2008, 101). Vaihtelu yksilöiden välillä näissä arvoissa on kuitenkin suurta, minkä seurauksena niiden käyttäminen ei ole mielekäästä. Testin keskeyttäminen näiden kriteerien perusteella voi johtaa todellista  $VO_{2max}$ -arvoa 30-40 % heikompaan lopputulokseen. Onkin ehdotettu, että paras tapa varmistaa, onko korkein hapenotokyvyn taso todella saavutettu, on toteuttaa varsinaisen testin perään pienen tauon jälkeen kuormitus, joka tehdään suuremmalla kuormalla (watit, nopeus) kuin varsinaisen testin lopussa. (Poole & Jones 2017.) Toisaalta Armstrong & Welsman (2008, 101–102) toteavat, että vaikka RER-arvo onkin pyörätestissä sen anaerobisesta luonteestaan johtuen korkeampi verrattuna esimerkiksi juoksumattotestiin, voidaan RER-arvoa 1,00 pitää sopivana indikaattorina lähes maksimaaliselle suoritukselle nuorilla. Tässä tutkimuksessa ei käytännöllisistä syistä käytetty Poolen & Jonesin (2017) esittelemää menetelmää, joten lienee mahdollista, että  $VO_{2peak}$ -arvot olisivat voineet olla joidenkin tutkittavien kohdalla mitattuja korkeammat. Voidaan kuitenkin varmasti sanoa, että suoritukset ovat olleet ainakin lähes maksimaalisia.

Juosten voidaan saavuttaa korkeammat hapenkulutuksen huippuarvot kuin pyöräillessä.  $VO_{2max}$ -arvon on lapsilla todettu olevan juoksumatolla tehdyssä testissä noin 8–10 % korkeampi verrattuna pyörätestillä mitattuun arvoon (Armstrong 2008, 100). Osa tutkittavista saavuttikin omavauhtisessa juoksussa pyörätestiä korkeamman  $VO_2$ -arvon, minkä seurauksena omavauhtinen juoksu suoritettiin keskimäärin (104,8%) pyörätestin perusteella määritettyä hapenkulutuksen reserviä kovemmalla kuormituksella. Vaikka omavauhtisen juoksun ei ollut tarkoitus



olla maksimaalinen suoritus, näyttää siltä, että osalla tutkittavista on kuormitus siinä ollut lähellä maksimaalista. Tuloksiin valittiin kuitenkin pyörätestissä mitattu  $VO_{2peak}$ -arvo, sillä ne saavutettiin vakioidulla testiprotokolla ja olivat siten vertailtavia tutkittavien välillä. Mikäli  $VO_{2peak}$ -arvo olisi määritetty juokсутestin perusteella, se ei todennäköisesti olisi vaikuttanut tutkimuksen päätuloksiin. Tuloksia tarkastellessa tulee kuitenkin huomioida, että juokсутestissä mahdollisesti saavutettu korkeampi  $VO_{2peak}$ -arvo vaikuttaa suoraan hapenkulutuksen reserviin, minkä seurauksena prosentuaaliset kuormitusarvot kussakin tehtävissä muuttuvat.

Kiihtyvyyttä mitattiin Gulf Coastin X6-1A -mittarilla (Gulf Coast Concepts LLC, Wavelands; MS, USA). Mittaria on käytetty kirjallisuuden perusteella melko vähän, mutta sen tulosten on todettu olevan vertailukelpoinen yleisimmin käytössä oleviin ja validoituihin kiihtyvyyssmittareihin (Laukkanen ym. 2014; Vähä-Ypyä ym. 2015b). MAD-arvoja on tutkittu vielä verrattain vähän, mutta viitteitä on, että arvot olisivat vertailtavissa eri mittareiden välillä (Vähä-Ypyä ym. 2015b). Tässä tutkimuksessa mitatut kiihtyvyyssarvot voisivat olla yleistettävissä MAD-arvoja hyödyntäviin tutkimuksiin.

Tehtäviksi pyrittiin valitsemaan lapsien normaalissa arjessa esiintyviä liikkumisen muotoja. Suoritusten täytyi olla toistettavia ja kuormituksen täytyi olla koko suorituksen ajan vakio, jotta hapenkulutuksessa saavutettiin tasannevaihe. Mitattuja tehtäviä on vähän ja ne kattavat vain erittäin pienen osan lasten päivittäisestä liikkumisesta. Tehtävät eivät esimerkiksi sisältäneet yläraajojen toimintaa vaativia tehtäviä (esim. pallonheitto) tai tehtäviä, joissa koko työskentäisiin koko vartalolla (esim. kiipeily). Tällaisten tehtävien mukanaolo olisi voinut heikentää kiihtyvyyden ja energiankulutuksen välistä suhdetta, sillä kiihtyvyyssmittari ei lantiolta kykene tarkasti mittaamaan tämän kaltaisia liikkumismuotoja. Monipuolisemmat tehtävät jäljittelevät tarkemmin lasten toimintaa normaalissa ympäristössä ja olisivat voineet antaa todellisemman kuvan kiihtyvyyssarvojen ja energiankulutuksen suhteesta. Todelliseen testiin mittareiden tarkuus joutuu, kun niitä käytetään pidempiä aikoja normaalissa arjessa. Lasten liikkuminen on tyyppillisesti jaksoittaista ja intensiteetiltaan erittäin vaihtelevaa. Tämän tyyppinen tutkimus, jossa lapset tekevät tiettyä tehtävää pidemmän aikaa ei vastaa lasten normaalia liikkumista arjessa. Edellä mainittujen asioiden takia korrelaatio kiihtyvyyssarvojen ja mitatun energiankulutuksen välillä on kenttäolosuhteissa mitattuna odotetusti heikompi verrattuna

laboratoriomittauksiin. Esimerkiksi Ekelund ym. (2004) tutkimuksessa korrelaatiokerroin kokonaisenergiankulutuksen ja kiihtyvyyssarvojen välillä oli 0,39 ja aktiivisuuden ja kiihtyvyyssarvojen välilläkin vain 0,54. Korrelaatiot ovat matalia verrattuna laboratoriotutkimuksiin, joissa korrelaatiot ovat tyypillisesti olleet vähintään 0,65 ja jopa yli 0,9 (Eston 1998; Puyau 2002, 2004; Zhu 2013, Vanhelst ym. 2010). Tulokset osoittavat, että hyvät tulokset laboratoriossa eivät takaa hyviä tuloksia normaalissa mittaustilanteessa arjessa. Tutkimusten vertailun tekee kuitenkin haasteelliseksi mm. erilaisten mittareiden käyttäminen eri tutkimuksissa.

## **8.5 Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset**

Tämä työ nosti esiin kestävyyskunnan merkityksen, kun arvioidaan fyysisen aktiivisuuden kuormittavuutta alakouluikäisillä lapsilla. Tulokset osoittivat, että kiihtyvyyssarvot korreloivat voimakkaasti mitatun energiankulutuksen kanssa, mutta eivät kykene erottelemaan fyysiseltä kunnoltaan eri tasoisten lasten yksilöllistä kuormittumista. Lisäksi tulokset osoittivat, että vaikka lapset työskentelisivät samalla kuormittavuudella suhteessa hapenottokyvyn reserviin, voivat he työskennellä eri tasoilla suhteessa kynnyksiin. Tämän seurauksena myös fysiologiset vasteet aktiivisuudelle ovat erilaiset. Pelkkä maksimaalisen hapenottokyvyn huomioiminen ei kerro tarkasti fyysisen aktiivisuuden aiheuttamasta fysiologisesta vasteesta, vaan kuormittumista arvioitaessa tulisi huomioida, millä kuormituksen tasoilla kynnykset saavutetaan. Työssä ei tutkittu ratkaisumalleja tarkemman mittaamisen mahdollistumiseksi, joten jatkossa tulisivat keskittyä tulosten siirtämiseen fyysisen aktiivisuuden mittaamisen käytännön kehittämiseksi.

Vahva korrelaatio GulfCoastin X6-1A mittarilla mitattujen kiihtyvyyden MAD-arvojen ja epäsuoralla kalorimetrialla mitatun energiankulutuksen välillä antoivat rohkaisevaa signaalia siitä, että mittari voisi olla käyttökelpoinen mittamaan fyysistä aktiivisuutta alakouluikäisillä lapsilla. Lisäksi Vähä-ypy ym. (2015b) ovat osoittaneet, että mittarilla mitatut MAD-arvot ovat vertailukelpoisia yleisesti käytetyn Actigraph GTX3 mittarin sekä Hookie AM13 mittarien kanssa. Jatkotutkimusaiheena voisikin olla fyysisen aktiivisuuden intensiteetti luokkien raja-arvojen luominen alakouluikäisille lapsille, kun käytetään X6-1A mittarilla mitattuja MAD-arvoja ja raja-arvojen testaaminen käyttämällä eri tutkimusjoukkoa ja eri tehtäviä (ristiinvalidointi).

Vaikka kiihtyvyyssarvot ja energiankulutus korreloivat hyvin eri tehtävissä, osoitti tarkempi tarkastelu, etteivät ne kykene erottelemaan kuntotasoltaan eri tasoisten lasten suhteellista kuormitusta toisistaan. Energiankulutus ilmoitettuna absoluuttisina MET-arvoina ei myöskään paljastanut näitä eroja yksilöiden välillä. Jatkossa olisi hyvä tutkia mahdollisuutta liittää lasten kestävyyskuntotaso osaksi kuormittavuuden arviointia kiihtyvyyssmittareilla.

Tulokset osoittivat myös, että kuormituksen suhteuttaminen hapenkulutuksen maksimitasoon tai hapenottokyvyn reserviin ei ole riittävä, jos halutaan tarkasti kuvata kuormituksen aiheuttamia fysiologisia ja aineenvaihdunnallisia vasteita. Liikkumisen fysiologisia vasteita kyetään parhaiten kuvaamaan suhteuttamalla kuormitus ventilaatiokynnyksiin. Tämä tukee ajatusta, että aina, jos mahdollista, tulisi kuormitus suhteuttaa ventilaatiokynnyksiin. Jos fyysisen aktiivisuuden kuormitusta tutkivissa tutkimuksissa testataan maksimaalisen hapenkulutus, tulisi siihen liittää myös mukaan ventilaatiokynnysten määrittäminen, jota voidaan hyödyntää kuormituksen arvioinnissa.

Valitettavasti fyysisen aktiivisuuden mittausmenetelmän tarkkuuden ja käytön helppouden välillä on negatiivinen yhteys. Mitä tarkemmaksi mittaamisessa mennään, sitä vaikeampi sitä on käytännössä ja etenkin isoilla tutkimusjoukoilla toteuttaa. (Corder & Ekelund 2008, 132.) Tarkempia fyysisen aktiivisuuden mittausmenetelmiä kuitenkin tarvitaan, jotta kyetään täsmentämään tietyille terveysvaikutteille tärkeät fyysisen aktiivisuuden osatekijät, määrittämään tarkemmin vaikuttavuuden määrä, tekemään kulttuurien välisiä vertailuja ja tutkimaan interventioiden vaikuttavuutta (Wareham & Rennie 1998).

## LÄHTEET

- Abbott, R. A. & Davies, P. S. W. Habitual Physical Activity and Physical Activity Intensity: Their Relation to Body Composition in 5.0–10.5-y-Old Children. *European Journal of Clinical Nutrition* 58, 285–291.
- Ainslie, P. N., Reilly, T. & Westerterp, K. R. 2003. Estimating Human Energy Expenditure: A Review of Techniques with Particular Reference to Doubly Labelled Water. *Sports Medicine* 33(9), 683–698.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. I., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Awartz, A. M., Sraha, S. J., O'Brien, W. L., Basset Jr, D., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R. & Leon, A. S. 2000. Compendium of Physical Activities: An Update of Activity Codes and MET intensities. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 32(9), 498–516.
- Aittasalo, M. Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T. Husu, P., Jussila, A-M. & Sievänen, H. 2015. Mean Amplitude Deviation Calculated from Raw Acceleration Data: A Novel Method for Classifying the Intensity of Adolescents Physical Activity Irrespective of Accelerometer Brand. *Sports Science, Medicine, and Rehabilitation* 7(18)
- Armstrong, N. & Fawkner, S. G. 2008. Exercise Metabolism. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 213–226.
- Armstrong, N. & Barker, A. R. 2009. Oxygen Uptake Kinetics in Children and Adolescents: A Review. *Pediatric Exercise Science* 21, 130–147.
- Armstrong, N. & Barker, A. R. 2011. Endurance Training & Elite Young Athletes. *Medicine and Sport Science* 56, 59–83.
- Armstrong, N. & Welsman, J. R. 2008. Aerobic Fitness. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 97–108.
- Armstrong, N., McManus, A. M. & Welsman, J. R. 2008. Aerobic Fitness. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 269–282.

- Armstrong, N. & Van Mechelen, W. 2008. Preface. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, xiii-iv.
- Baxter-Jones, A. D. G. & Sherar, L. B. 2007. Growth and Maturation. Teoksessa N. Armstrong (toim.) *Paediatric Exercise Physiology*. Philadelphia: Churchill Livingstone Elsevier, 1–26.
- Baxter-Jones, A. D. G. 2008. Growth & Maturation. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 157–168.
- Biddle, S. J. H. & Asare, M. 2011. Physical Activity and Mental Health in Children and Adolescents. A review of Reviews. *British Journal of Sports Medicine* 45, 886–895.
- Bitar, A. Fellmann, N., Vernet, J., Coudert, J. & Vermorel, M. 1999. Variations and Determinants of Energy Expenditure as Measured by Whole-Body Indirect Calorimetry During Puberty and Adolescence. *American Journal of Clinical Nutrition* 69, 1209–1216.
- Bond, B., Weston, K. L., Williams, C. A. & Barker, A. R. 2017. Perspectives on High-Intensity Interval Exercise for Health Promotion in Children and Adolescents. *Open Access Journal of Sports Medicine* 8, 243–265.
- Butte, N. F., Watson, K. B., Ridley, K. Zaker, I. F., McMurray, R. G., Pfeiffer, K. A., Crouter, S. E., Herrmann, S. D., Bassett, D. R., Long, A., Berhane, Z., Trost, S. G., Ainsworth, B. E., Berrigan, D. & Fulton, J. E. 2018. A Youth Compendium of Physical Activities: Activity Codes and Metabolic Intensities 50(2), 246-256.
- Camic, C. L., Kovacs, A. J., Enquist, E. A., VanDusseldorp, T. A., Hill, E. C., Calantoni, A. M. & Yemm, A. J. 2014. An Electromyographic-Based Test for Estimating Neuromuscular Fatigue During Incremental Treadmill Running. *Physiological Measurement* 35, 2401-2413.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E. & Christenson, G. M. 1985. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-related Research. *Public Health Reports* 100(2), 126–131.
- Chen, K. Y. & Bassett, D. R. 2005. The Technology of Accelerometry-Based Activity Monitors: Current and Future. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(11S), 490–500.

- Collings, P. J., Westgate, K., Väistö, J., Wijndaele, K., Atkin, A. J., Haapala, E. A., Lintu, N., Laitinen, T., Ekelund, U., Brage, S. & Lakka, T. A. 2016. Cross-Sectional Associations of Objectively-Measured Physical Activity and Sedentary Time with Body Composition and Cardiorespiratory Fitness in Mid-Childhood: The PANIC Study. *Sports Medicine* 47, 769-780.
- Cooper, D., Weiler-Ravel, D., Whipp, B. J., & Wassermann, K. 1984. Aerobic Parameters of Exercise as a Function of Body Size During Growth in Children (Tiivistelmä). *Journal of Applied Physiology* 56, 628–634.
- Corder, K., Brage, S., Mattocks, C., Ness, A., Riddoch, C., Wareham, N. J. & Ekelund, U. 2007. Comparison of Two Methods to Assess PAEE During Six Activities in Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39(12), 180–188.
- Corder, K. & Ekelund, U. 2008. Physical Activity. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 129–144.
- Cumming, S. & Riddoch, C. 2008. Physical Activity, Physical Fitness, and Health: Current Concepts. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 327–338.
- De Almeida Mendes, M., da Silva, I. C. M., Ramires, V. V., Reichert, F. F., Martins, R. C. & Tomasi, E. 2018. Calibration of Raw Accelerometer Data to Measure Physical Activity: A Systematic Review. *Gait & Posture* 61, 98–110.
- De Graauw, S. M., de Groot, J. F., van Brussel, M., Streur, M. F. & Takken, T. 2010. Review of Prediction Models to Estimate Activity-Related Energy Expenditure in Children and Adolescents. *International Journal of Pediatrics*.
- Defeyes, J. E., Karst, G. M., Stuberg, W. A. & Kurz, M. J. 2012. Coactivation of Lower Leg Muscles During Body Weight-Supported Treadmill Walking Decreases with Age in Adolescents. *Perceptual & Motor Skills* 1(115), 241–260.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K. & Szabo-Reed, A. N. 2016. Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children: A Systematic Review. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48(6), 1197-1222.

- Ekelund, U., Sjöström, M., Yngve, A., Poortvliet, E., Nilsson, A., Froberg, K., Wedderkopp, N. & Westerterp, K. 2001. Physical Activity Assessed by Doubly Labelled Water in Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33(2), 275-281.
- Ekelund, U., Yngve, A., Brage, S., Westerterp, K. & Sjöström, M. 2004. Body Movement and Physical Activity Energy Expenditure in Children and Adolescents: How to Adjust for Differences in Body Size and Age. *The American Journal of Clinical Nutrition* 79, 851–856.
- Eston, R. G., Rowlands, A. V. & Ingledew, D. K. 1998. Validity of Heart Rate, Pedometry, and Accelerometry for Predicting the Energy Cost of Children's Activities. *Applied Physiology* 84(1), 362–371.
- Evenson, K. R., Catellier, D. J., Gill, K., Ondrak, K. O. & McMurray, R. G. 2008. Calibration of Two Objective Measures of Physical Activity for Children. *Journal of Sports Sciences* 26(14), 1557-1565.
- Frost, G., Bar-Or, O., Dowling, J. & Dyson, K. 2002. Explaining differences in the metabolic cost and efficiency of treadmill locomotion in children. *Journal of Sports Sciences* 20, 451–461.
- Fawkner, S. G. 2008. Pulmonary function. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 243–254.
- Fawkner, S. G. & Armstrong, N. 2008. Oxygen Uptake Kinetics. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 298–307.
- Freedson, P., Pober, D. & Janz, K. F. 2005. Calibration of Accelerometer Output for Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37, 523–530.
- Garcia-Prieto, J. C., Martinez-Vizcaino, M. Garcia-Hermoso, A., Sanchez-Lopez, M., Arias-Palencia, N., Fonseca, J. F. O. & Mora-Rodriguez, R. 2017. Energy Expenditure in Playground Games in Primary School Children Measured by Accelerometer and Heart Rate. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 27, 467–474.

- Gass, G., C., McLellan, T. M. & Gass, E. M. 1991. Effects of Prolonged Exercise at A Similar Percentage of Maximal Oxygen Consumption in Trained and Untrained Subjects. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 63(6), 430–435.
- Haapala, E. A., Laukkanen, J. A., Takken, T., Kujala, U. M. & Finni, T. 2018. Peak Oxygen Uptake, Ventilatory Threshold, and Arterial Stiffness in Adolescents. *European Journal of Applied Physiology* 118, 2367–2376.
- Haapala, E. A., Väistö, J., Veijalainen, A., Lintu, N., Wiklund, P., Westgate, K., Ekelund, U., Lindi, V., Brage, S. & Lakka, T. A. 2017a. Associations of Objectively Measured Physical Activity and Sedentary Time with Arterial Stiffness in Pre-Pubertal Children. *Pediatric Exercise Science* 29(3), 326-335.
- Haapala, E. A., Väistö, J., Lintu, N., Westgate, K., Ekelund, U., Poikkeus, A-M., Brage, S. & Lakka, T. A. 2017b. Physical Activity and Sedentary Time in Relation to Academic Achievement in Children. *Journal of Science and Medicine in Sport* 20, 583–589.
- Harrell, J. S., McMurray, R. G., Baggett, C. D., Pennell, M. L., Pearce, P. F. & Bangdiwala, S. I. 2005. Energy Cost of Physical Activities in Children and Adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(2), 329–336.
- Haskell, W. L., Yee, M. C., Evans, A. & Irby, P. J. 1993. Simultaneous Measurement of Heart Rate and Body Motion to Quantitate Physical Activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 25(1), 109–115.
- Hebestreit, H., Staschen, B. & Hebestreit, A. 2000. Ventilatory Threshold: A Useful Method to Determine Aerobic Fitness in Children? *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (11), 1964–1969.
- Heidemann, M., Molgaard, C., Husby, S., Schou, A. J., Klakk, H. Moller, N. C., Holst, R. & Wedderkopp, N. 2013. The Intensity of Physical Activity Influence Bone Miner Accrual in Childhood: The Childhood Health, Activity and Motor Performance School (The CHAMPS) Study, Denmark. *BMC Pediatrics* 32 (13).
- Hiilloskorpi, H. K., Pasanen, M. E., Fogelholm, M. G., Laukkanen R.M. & Mänttri, A. T. 2003. Use of Heart Rate to Predict Energy Expenditure from Low to High Activity Levels.



- Hildebrand, M., Hansen, B. H., Van Hees, V. T. & Ekelund, U. 2017. Evaluation of Raw Acceleration Sedentary Thresholds in Children and Adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 27, 1814–1823.
- Hildebrand, M., Van Hees, B. H., Hansen, B. H. & Ekelund, U. 2014. Age-Group Comparability of Raw Accelerometer Output from Wrist- and Hip-Worn Monitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46(9), 1816–1824.
- Hillman, C. H., Kamijo, K. & Scudder, M. 2011. A Review of Chronic and Acute Physical Activity Participation on Neuroelectric Measures of Brain and Cognition During Childhood. *Preventive Medicine* 52S, S21-S28.
- Howley, E. T. 2001. Type of Activity: Resistance, Aerobic and Leisure Versus Occupational Physical Activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 33(6), S364-S369.
- Janssen, I. & LeBlanc, A. G. 2010. Systematic Review of the Health Benefits of Physical Activity and Fitness in School-Aged Children and Youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 7(40),
- Karvonen, J. & Vuorimaa, T. 1988. Heart Rate and Exercise Intensity during Sports Activities Practical Application (tiivistelmä). *Sports Medicine* 5(5), 303-311.
- Katch, V. L., Weltman, A., Sady, S. & Freedson, P. 1978. Validity of the Relative Percent Concept for Equating Training Intensity. *European Journal of Applied Physiology* 39, 219–227.
- Kang, M. & Rowe, D. A. 2015. Issues and Challenges in Sedentary Behavior Measurement. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 19, 105–115.
- Kenny, G. P., Notley, S. R. & Gagnon, D. 2017. Direct Calorimetry: A Brief Historical Review of its Use in the Study of Human Metabolism and Thermoregulation. *European Journal of Applied Physiology* 117, 1765–1785.
- Kujala, U. M., Pietilä, J., Myllymäki, T., Mutikainen, S., Föhr, T., Korhonen, I. & Helander, E. Physical Activity: Absolute Intensity versus Relative-to-Fitness-Level Volumes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 49(3), 474-481.
- Lacour, J-R. & Bourdin, M. 2015 Factors affecting the Energy Cost of Level Running at Submaximal Speed. *European Journal of Applied Physiology*.

- Lau, M., Wang, L., Acra, S. & Buchowski, M.S. 2016. Energy Expenditure of Common Sedentary Activities in Youth. *Journal of Physical Activity and Health* 13(1), 17–20.
- Laukkanen, A., Pesola, A., Havu, M., Sääkslahti, A., Finni, T. 2014. Relationship Between Habitual Physical Activity and Gross Motor Skills is Multifaceted in 5- to 8-year Old Children. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24(2), 102-110.
- Lee, J-M., Saint-Maurice, P. F., Kim, Y., Gaesser, G. A. & Welk, G. 2016. Activity Energy Expenditure in Youth: Sex, Age and Body Size Patterns. *Journal of Physical Activity and Health* 13(6), 62–70.
- Lintu, N., Viitasalo, A., Tompuri, T., Veijalainen, A., Hakulinen, M., Laitinen, T., Savonen, K. & Lakka, T. A. 2014. Cardiorespiratory Fitness, Respiratory Function and Hemodynamic Responses to Maximal Cycle Ergometer Exercise Test in Girls and Boys Aged 9–11 Years: The PANIC Study. *European Journal of Applied Physiology* 115(2), 235-243.
- Livingstone, M. B. E., Coward, W. A., Prentice, A. M., Davies, P. S. W., Strain, J. J., McKenna, P. G., Mahoney, C. A., White, J. A., Stewart, C. M. & Kerr, M-J. J. 1992. Daily Energy Expenditure in Free-Living Children: Comparison of Heart-Rate Monitoring with the Doubly Labeled Water ( $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) Method. *The American Journal of Clinical Nutrition* 56, 343–352.
- Livingstone, M. B. E., Robson, P.J. & Totton, M. 2000. Energy Expenditure by Heart Rate in Children: An Evaluation of Calibration Technique. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(8), 1513–1519.
- Loprinzi, P. D. & Cardinal, B. J. 2011. Measuring Children’s Physical Activity and Sedentary Behaviors. *Journal of Exercise Science & Fitness* 9(1), 15–23.
- Macfarlane, D. J. Open-Circuit Respirometry: A Historical Review of Portable Gas Analysis Systems. *European Journal of Applied Physiology* 117, 2369–2386.
- Mahon, A. D., Duncan, G. E., Howe, C. A. & Del Corral, P. 1997. Blood Lactate and Perceived Exertion Relative to Ventilatory Threshold: Boys versus Men. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 29(10), 1332-1337.
- Mahon, A. D. & Cheatman, C. C. 2002. Ventilatory Threshold in Children: A Review. *Pediatric Exercise Science* 14, 16–29.

- Mahon, A. D. 2008. Aerobic Training. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) Paediatric Exercise Science and Medicine. New York: Oxford University Press, 513–530.
- Mann, T., Lamberts, P. & Lambert, M. I. 2013. Methods of Prescribing Relative Exercise Intensity: Physiological and Practical Considerations. *Sports Medicine* 43, 613–625.
- Mathie, M. J., Coster, A. C. F., Lovell, N. H. & Celler, B. G. 2004. Accelerometry: Providing an Integrated, Practical Method for Long-Term, Ambulatory Monitoring of Human Movement. *Physiological Measurement* 25, R1–R20.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2014. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Macfarlane, D. J. 2017. Open-Circuit Respirometry: A Historical Review of Portable Gas Analysis Systems. *European Journal of Applied Physiology* 117, 2369–2386.
- Maciejczyk, M., Szymura, J., Cempla, J., Gradek, J., Wiecek, M. & Bawelski, M. 2014. Respiratory Compensation Point During Incremental Test in Overweight and Normoweight Boys: Is it Useful in Assessing Aerobic Performance) A Longitudinal Study. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 34, 56–63.
- McConnell, T. R., Haas, J. H. & Conlin, N. C. 1992. Gas Exchange Anaerobic Threshold: Implications for Exercise Prescription in Children. *Pediatric exercise* 4, 360-366.
- McMurray, R. G., Butte, N. F., Crouter, S. E., Trost, S. G., Pfeiffer, K. A., Bassett, D. R., Puyau, M. R., Berrigan, D., Watson, K. B. & Fulton, J. E. 2015. Exploring Metrics to Express Energy Expenditure of Physical Activity in Youth. *PLoS ONE* 10(6).
- Meyer, T., Holger, H. W., Kindermann, G. & Kindermann, W. 1999. Is Determination of Exercise Intensities as Percentages of  $VO_{2max}$  or  $HR_{max}$  Adequate? *Medicine & Science in Sports and Exercise* 31(9), 1342–1345.
- Miller, N. E., Strath, S. J., Swartz, A. M. & Cashin, S. E. 2010. Estimating Absolute and Relative Physical Activity Intensity Across Age via Accelerometry in Adults. *Journal of Aging and Physical Activity* 18(2), 158-170.
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N. & Brasher, P. M. 2015. Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 47(8), 1755-1764.

- Morgan, D.W. 2000. Locomotor economy. *Kirjassa Paediatric Exercise Science & Medicine*
- Nixon, P. A. 2008. Pulmonary function. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 68–76.
- Owen, N., Sparling, P. B., Healy, G. N., Dunstan, D. W. & Matthews, C. E. Sedentary Behavior: emerging evidence for a new health risk. *Mayo Clinic Proceedings* 85(12), 1138–1141.
- Ozemek, C., Cochran, H. L., Strath, S. J., Byun, W. & Kaminsky, L. A. 2013. Estimating Relative Intensity Using Individualized Accelerometer Cutpoints: The Importance of Fitness Level. *BMC Medical Research Methodology* 53(13).
- Parfitt, G., Pavey, T. & Rowlands, A. V. Children’s Physical Activity and Psychological Health: The Relevance of Intensity. *Acta Paediatrica* 98, 1037-1043.
- Pate, R. R., O’Neill, J. R. & Lobelo, F. 2008. The evolving definition of ”sedentary”. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 36(4), 173–178.
- Peyrot, N., Thivel, D., Isacco, L. & Belli, A. 2009. Do Mechanical Gait Parameters Explain the Higher Metabolic Cost of Walking in Obese Adolescents. *Journal of Applied Physiology* 106(6), 1763–1770.
- Pfeiffer, K. A., Watson, K. B., McMurray, R. G., Bassett, D. R., Butte, N. F., Crouter, S. E., Herrmann, S. D., Trost, S. G., Ainsworth, B. E., Fulton, J. E. & Berrigan, D. 2018. Energy Cost Expression for a Youth Compendium of Physical Activities: Rationale for Using Age Groups. *Pediatric Exercise Science* 30, 144–151.
- Phillips, L. R. S., Parfitt, G. & Rowlands, A. V. 2013. Calibration of the GENEActiv accelerometer for assessment of Physical Activity Intensity in Children. *Journal of Science and Medicine in Sport* 16, 124–128.
- Poitras, V. J., Gray, C. E., Borghese, M. M., Carson, V., Chaput, J-P., Janssen, I., Katzmarzyk, P. T., Pate, R. R., Gorber, S. C., Kho, M. E., Sampson, M. & Tremblay, M. S. 2016. Systematic Review of the Relationship Between Objectively Measured Physical Activity and Health Indicators in School-Aged Children and Youth. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 41, S197–239.
- Poole, D. C. & Jones, A. M. 2017. Measurement of the Maximum Oxygen Uptake  $VO_{2max}$ :  $VO_{2peak}$  is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology* 122(4), 997–1002.

- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A. & Butte, N. F. 2002. Validation and Calibration of Physical Activity Monitors in Children. *Obesity Research* 10(3), 150–157.
- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, A. F., Zakeri, I., Butte, N. F. 2004. Prediction of Activity Energy Expenditure Using Accelerometers in Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(9), 1625–1631.
- Reybrouck, T., Weymans, M., Stijns, H., Knops, J. & van der Hauwaert, L. 1985. Ventilatory anaerobic threshold in healthy children. Age and sex differences (Tiivistelmä). *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 54(3), 278–284.
- Ridley, K., Ainsworth, B. E. & Olds, T. S. 2008. Development of a Compendium of Energy Expenditures for Youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 45(5),
- Ridley & Olds. 2008. Assigning energy Costs to Activities in Children: A Review and Synthesis. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 40, 1439–1446.
- Rivera-Brown, A. M. & Frontera, W. R. 1998. Achievement of Plateau and Reliability of  $\text{VO}_2\text{max}$  in Trained Adolescents Tested with Different Ergometers. *Pediatric Exercise Science* 10, 164–175.
- Roemmich, J. N., Clark, P. A., Walter, J. P., Weltman, A. & Rogol, A. D. 2000. Pubertal Alterations in Growth and Body Composition. V. Energy Expenditure, Adiposity, and Fat Distribution. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 279, 1426–1436.
- Romanzini, M., Petroski, E. L. & Reichert, F. F. 2012. Accelerometers Thresholds to Estimate Physical Activity Intensity in Children and Adolescent: A Systematic Review. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance* 14(1), 101–113.
- Rosdahl, H., Gullstrand, L., Salier-Eriksson, J., Johansson, P. & Schantz, P. 2010. Evaluation of the Oxycon Mobile Metabolic System Against the Douglas Bag Method. *European Journal of Applied Physiology* 109, 159-171.
- Rowland, T. W. 2008. Cardiovascular function. Teoksessa N. Armstrong & W. Van Mechelen (toim.) *Paediatric Exercise Science and Medicine*. New York: Oxford University Press, 255–268.

- Rowlands, A. V., Thomas, P. W. M., Eston, R. G. & Topping, R. 2004. Validation of the RT3 Triaxial Accelerometer for the Assessment of Physical Activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(3), 518–524.
- Ryan, J. & Gormley, J. An Evaluation of Energy Expenditure Estimation by Three Activity Monitors. *European Journal of Sport Science* 13(6), 681-688.
- Saari, A., Sankilampi, U., Hannila, M. L., Kiviniemi, V., Vesseli, K. & Dunekl, L. 2011. New Finnish Growth References for Children and Adolescents Aged 0 to 20 Years: Length/Height-for-Age, Weight-for-Length/Height, and Body Mass Index-for-Age. *Annals of Medicine* 43, 235-248.
- Saint-Maurice, P. F., Youngwon, K., Welk, G. J. & Gaesser, G. A. 2016. Kids are not little adults: what MET threshold captures sedentary behavior in children? *European Journal of Applied Physiology* 116, 29–38.
- Sallis, J. F., Prochaska, J. J. & Taylor, W. C. 2000. A Review of Correlates of Physical Activity of Children and Adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(5), 963-975.
- Sardinha, L. B. & Judice, P. B. 2017. Usefulness of Motion Sensors to Estimate Energy Expenditure in Children and Adults: A Narrative Review of Studies Using DLW. *European Journal of Clinical Nutrition* 71, 331–339.
- Sedentary Behaviour Research Network. 2012. Letter to the Editor: Standardized Use of the Terms “Sedentary” and “Sedentary Behaviours” *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 37(3), 540–542.
- Shephard, R. J. & Aoyagi, Y. 2012. Measurement of Human Energy Expenditure, with Particular Reference to Field Studies: An Historical Perspective. *European Journal of Applied Physiology*. 112, 2785–2815.
- Schoffelen, P. F. M. & Plasqui, G. 2018. Classical Experiments in Whole-Body Metabolism: Open-Circuit Respirometry-Diluted Flow Chamber, Hood, or Facemask Systems. *European Journal of Applied Physiology* 118, 33–49.
- Schofield, W. N. 1985. Predicting Basal Metabolic Rate, New Standards and Review of Previous Work. *Human Nutrition: Clinical Nutrition* 39(5), 5–41.
- Sievänen, H. & Kujala, U. 2017. Accelerometry-Simple, but Challenging. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 27, 574–578.

- Sirard, J. R. & Pate, R. R. 2001. Physical Activity Assessment in Children and Adolescents. *Sports Medicine* 31(6), 439–454.
- Specker, B., Thiex, N. W. & Sudhagani, R. G. 2015. Does Exercise Influence Pediatric Bone? A Systematic Review. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 473(11), 3658-3672.
- Stone, M. R., Esliger, D. W. & Tremblay, M. S. 2007. Comparative Validity of Five Activity Monitors: Does Being Child Matters (tiivistelmä). *Pediatric Exercise Science* 19, 291–309.
- Stookey, A. D., Mealey, L. M. & Shaughnessy, M. 2011. Physical Activity Assessment in Children. *Journal of Exercise Physiology* 14(5), 75–84.
- Takken, T., Bongers, B. C., van Brussel, M., Haapala, E. & Hulzebos, E. H. J. 2017. Cardio-pulmonary Exercise Testing in Pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society* 14(S1)
- Tarp, J., Child, A., White, T., Westgate, K., Brugge, A., Grontved, A., Wedderkopp, N., Andersen, L. B., Cardon, G., Davey, R., Janz, K. F., Kriemler, S., Northstone, K., Page, A. S., Puder, J. J., Reilly, J. J., Sardinha, L. B., van Sluijs, E. M. F., Ekelund, F., Wijndaele, K. & Brage, S. 2018. Physical Activity Intensity, Bout-Duration, and Cardiometabolic Risk Markers in Children and Adolescent. *International Journal of Obesity* 42, 1639–1650.
- Tikkanen, O., Kärkkäinen, S., Haakana, P., Kallinen, M., Pullinen, T. & Finni, T. 2014. EMG, Heart Rate, and Accelerometer as Estimator of Energy Expenditure in Locomotion. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 46(9), 1831–1839.
- Tompuri, T. T. 2015a. Metabolic Equivalents of Task are Confounded by Adiposity, which Disturbs Objective Measurement of Physical Activity. *Frontiers in Physiology* 6
- Tompuri, T. T., Lakka, T. A., Hakulinen, M., Lindi, V., Laaksonen, D. E., Kilpeläinen, T. O., Jääskeläinen, J., Lakka, H. M. & Laitinen, T. 2015b. Assessment of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry, bioimpedance analysis and anthropometrics in children: The Physical Activity and Nutrition in Children study. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 35(1), 21-33.

- Tremblay, M. S., Colley, R. C., Saunders, T. J., Healy, G. N. & Owen, N. 2010. Physiological and Health Implications of a Sedentary Lifestyle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 35, 725–740.
- Trost, S. G. 2007. Measurement of Physical Activity in Children and Adolescent. *American Journal of Lifestyle Medicine* 4(1), 299–314.
- Troiano, R. P., McClain, J. J., Brychta, R. J. & Chen, K. Y. 2014. Evolution of Accelerometer Methods for Physical Activity Research. *British Journal of Sports Medicine* 48, 1019–1023.
- Trost, S. G. & O’Neil, M. 2014. Clinical Use of Objective Measures of Physical Activity. *British Journal of Sports Medicine* 48, 178–181.
- Turley, K. R., Rogers, D. M., Harper, K. M., Kujawa, K. I. & Wilmore, J. H. 1995. Maximal Treadmill Versus Cycle Ergometry Testing in Children: Differences, Reliability, and Variability of Responses. *Pediatric Exercise Science* 7, 49–60.
- Lasten ja nuorten liikuntakäyttäytyminen Suomessa. LIITU-tutkimuksen tuloksia 2018. Valtion Liikuntaneuvosto Julkaisuja 2019:1. Helsinki.
- Vanhelst, J., Béghin, L., Rasoamanana, P., Theunynck, D., Meskini, T., Ilescu, C., Duhamel, A., Turck, D. & Gottrand, F. 2010. Calibration of the RT3 Accelerometer for Various Patterns of Physical Activity in Children and Adolescents. *Journal of Sports Sciences* 28(4), 381–387.
- Veijalainen, A., Tompuri, T., Haapala, E. A., Viitasalo, A., Lintu, N., Väistö, J., Laitinen, T. & Lakka, T. A. 2016. Associations of Cardiorespiratory Fitness, Physical Activity, and Adiposity with Arterial Stiffness in Children. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 26(8), 943-950.
- Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Mäntrri, A., Vuorimaa, T., Suni, J. & Sievänen, H. 2015a. Validation of Cut-Points for Evaluating the Intensity of Physical Activity with Accelerometry-Based Mean Amplitude Deviation (MAD). *PLoS ONE* 10(8).
- Vähä-Ypyä, H., Vasankari, T., Husu, P., Suni, J. & Sievänen, H. 2015b. A Universal, Accurate Intensity-Based Classification of Different Physical Activities Using Raw Data of Accelerometer. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 35, 64–70.



- Väistö, J., Haapala, E. A., Viitasalo, A., Schnurr, T. M., Kilpeläinen, T. O., Karjalainen, P., Westgate, K., Lakka, H-M., Laaksonen, D. E., Ekelund, U., Brage, S. & Lakka, T. A. 2019. Longitudinal Associations of Physical Activity and Sedentary Time with Cardiometabolic Risk Factors in Children. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sport* 29, 113-123.
- Warburton, D. E. R., Nicol, C. W. & Bredin, S. S. D. 2006. Health Benefits of Physical Activity: The Evidence. *CMAJ* 174(6), 801-809.
- Wareham, H. J. & Rennie, K. L. 1998. The Assessment of Physical Activity in Individual and Populations: Why Try to be More Individuals and Populations: Why Try to be More Precise about How Physical Activity is Assessed? *International Journal of Obesity* 22 (S2), 30–38.
- Wasserman, K. Whipp, B. J., Koyal, S. N. & Beaver, W. L. 1973. Anaerobic Threshold and Respiratory Gas Exchange During Exercise. *Journal of Applied Physiology* 35, 236–243.
- Weatherwax, R. M., Harris, N. K., Kilding, A. E. & Dalleck, L. C. 2019. Incidence of  $\dot{V}O_{2\max}$  Responders to Personalized versus Standardized Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 51(4), 681-691.
- Westerterp, K. R. 1999. Physical Activity Assessment with Accelerometers. *International Journal of Obesity* 23(suppl 3), 45–49.
- Westerterp, K. R. 2013. Physical Activity and Physical Activity Induced Energy Expenditure in Humans: Measurement, Determinants, and Effects. *Frontiers in Psychology* 4.
- Wickel, E. E., Eisenmann, J. C. & Welk, G. J. 2007. Predictive Validity of an Age-Specific MET Equation among Youth of Varying Body Size. *European Journal of Applied Physiology* 101, 555–563.
- Williams, J., Armstrong, N. & Kirby, B. 1990. The 4mM Blood Lactate Level as an Index of Exercise Performance in 11–13 Year Old Children. *Journal of Sports Sciences* 8(2), 139–147.
- Winsley, R. J. 2007. Cardiovascular Function. Teoksessa N. Armstrong (toim.) *Paediatric Exercise Physiology*. Philadelphia:Churchill Livingstone Elsevier, 139–160.

- Wittmeier, K. D. M., Mollard, R. C. & Kriellaars, D. J. 2008. Physical Activity Intensity and Risk of Overweight and Adiposity in Children. *Obesity* 16, 415–420.
- Wolpern, A. E., Burgos, D. J., Janot, J. M. & Dalleck, L. C. 2015. Is A Threshold-Based Model A Superior Method to the Relative Percent Concept for Establishing Individual Exercise Intensity? A Randomized Controlled Trial. *BMC Sport Science, Medicine, and Rehabilitation* 16(7).
- World Health Organization. 2010. *Global Recommendations on Physical Activity for Health*.
- Zhu, Z., Chen, P. & Zhuang, J. 2013. Predicting Chinese Children and Youth's Energy Expenditure Using ActiGraph Accelerometers: A Calibration and Cross-Validation Study. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 84, S56–S63.
- Åstrand, P-P. & Ryhming, I. A. 1954. Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) From Pulse Rate During Submaximal Work. *Journal of Applied Physiology* 7(2), 218-221.

# LIITTEET

Liite 1



Jyväskylän yliopisto  
Eettinen toimikunta

## LAUSUNTO

Professori Taija Juutinen on pyytänyt Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta lausuntoa tutkimukselle ”Lasten fyysisen aktiivisuuden mittaaminen eri menetelmillä”. Eettinen toimikunta edellyttää oman lausuntonsa perusteeksi saatekirjeen, lausuntoa hakevan hankkeen tutkimussuunnitelman ja sen tiivistelmän, tiedotteen ja suostumuslomakkeen tutkittaville sekä rekisteriselostelomakkeen.

Tutkittaville jaettavasta informaatiosta tulee ilmetä:

1. tutkijoiden yhteystiedot sekä vastuullinen tutkija
2. tutkimuksen taustatiedot soveltuvin osin: tutkimuslaitos tai -laitokset, tukiorganisaatiot tai -henkilöryhmät
3. tutkimusaineiston säilyttäminen
4. tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys
5. menettelyt, joiden kohteiksi tutkittavat joutuvat
6. hyödyt ja haitat, joita tutkittavat/koehenkilöt kohtuudella voivat odottaa; erityisesti tutkimuksen aiheuttamat mahdolliset rasitteet tai terveydelliset riskit tutkittaville sekä niiden todennäköisyys
7. miten ja mihin tietoja aiotaan käyttää
8. tutkittavien oikeudet: että he voivat kieltäytyä osallistumasta tutkimukseen, että he voivat missä tahansa vaiheessa kysyä lisätietoja tutkimuksesta ja että he voivat missä vaiheessa tahansa perua osallistumisensa tutkimukseen
9. onko tutkittavat vakuutettu tutkimusprojektin puolesta vai oletetaanko, että tutkittavat osallistuvat tutkimukseen omien henkilökohtaisten vakuutustensa varassa.
10. tutkittavan tai hänen huoltajansa/laillisen edustajansa suostumus tutkimukseen osallistumisesta

Eettinen toimikunta on käsitellyt Juutisen lausuntopyyntöä kokouksessaan 11.8.2017. Juutinen on täydentänyt lausuntopyyntöä toimikunnan edellyttämällä tavalla, eikä toimikunta näe tutkimushankkeen toteuttamiselle estettä, mikäli se suoritetaan tutkimussuunnitelmassa esitetyllä tavalla.

Laki lääketieteellisestä tutkimuksesta (488/1999) edellyttää, että lain soveltamisalaan kuuluvalla tutkimuksella saadaan sairaanhoitopiirin eettisen toimikunnan suostumus. Eettisen toimikunnan käsityksen mukaan lausuntopyynnön kohteena ei ole laissa tarkoitettu lääketieteellinen tutkimus.

Jyväskylässä 28.8.2017

Piia Astikainen  
Varapuheenjohtaja

Petteri Niemi  
Sihteeri

## Kuinka aktiivinen liikkuja olet, millainen on kuntosi ja minkälaisilla menetelmillä fyysistä aktiivisuutta voidaan tutkia?

*Osallistumalla Jyväskylän yliopistossa alkavaan tutkimukseen, saat vastauksen muun muassa näihin kysymyksiin.*

### Etsimme 1., 3. ja 5. -luokkalaisia lapsia osallistumaan

Jyväskylän yliopistossa alkavaan tutkimukseen, jossa selvitetään lasten fyysistä aktiivisuutta eri mittausmenetelmiä käyttäen. Olet soveltuva tutkimukseen, mikäli olet terve, eikä sinulla ole vammaa tai sairautta (sydänsairaus tai vastaava), mikä estää sinulta taskaan liikunnan.

Tutkimuksessa tehdään laboratoriomittauksia, joihin lisäksi fyysistä aktiivisuutta mitataan viikon ajan normaalissa arjessa. Laboratorionkäyntejä on yhteensä kaksi tai kolme. Laboratoriossa mitataan lepoaineenvaihduntaa, kehonkoostumusta, motorisia taitoja, hapenottokykyä, lihastoimintaa sekä fyysistä aktiivisuutta eri mittareilla helppoissa liikuntatehtävissä. Liikunta-aktiivisuutta seurataan normaalissa arjessa viikon ajan kiihtyvyyssmittarin avulla yhden päivän aikana käytetään lisäksi lihasaktiivisuutta mittaavia shortseja ja havainnoidaan tutkittavan liikkumista. Tutkimukseen osallistuminen on täysin vapaaehtoista. Tutkimukseen osallistumisesta ei makseta palkkiota.

#### Tutkimuksen yhteystiedot

Halutessasi lisätietoja, voit ottaa yhteyttä tutkimusprojektin koordinaattoreihin Tanja Niemeen: [tanja.niemi@student.jyu.fi](mailto:tanja.niemi@student.jyu.fi), puh. 0405259518 tai Martti Meliniin: [martti.melin@elisanet.fi](mailto:martti.melin@elisanet.fi), puh. 0407368814.

#### Lisätietoa CHIPASE-tutkimuksesta

- Istumiskäyttäytymiseen, ja erityisesti sen terveysriskeihin vaikuttamiseksi on erittäin tärkeää pystyä mittaamaan istumista ja liikkumattomuutta tarkasti.
- Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan lasten liikunta- ja liikkumattomuus-suosituksia tuokata huomioimaan kokonaisvaltaisemmin lapsen kasvuun, kehitykseen ja terveyteen vaikuttavia tekijöitä.
- Osallistumalla tutkimukseemme, voit olla mukana kehittämässä entistä tarkempia lasten fyysistä aktiivisuutta mittaavia menetelmiä ja lisäämässä tietoa lasten fyysisestä käyttäytymisestä. Tätä tietoa käytetään jatkossa lasten liikkumista edistävien projektien ja suositusten suunnittelussa.

#### Saat ilmaista tietoa

- Liikunta-aktiivisuudestasi
  - Fyysisestä kunnostasi
- Tämän lisäksi saat hienon kokemuksen tutkimukseen osallistumisesta!
- Lomakkeen [www-versio](http://www-versio.toytyy.fi) löytyyältä: <https://goo.gl/forms/BLZBsn6KjbXa1TG52>

CHIPASE-projekti: lasten fyysinen aktiivisuus ja liikkumattomuus. Liikkumattomuuden raja-arvot ja luokkatilan mahdollisuudet istumisen vähentämisessä.

Haluun lisätietoa tutkimuksesta ja odotan teidän yhteydenottoa:

Lapsen nimi \_\_\_\_\_ Ikä \_\_\_\_\_  
Koulu \_\_\_\_\_ Luokka \_\_\_\_\_

Huoltajan nimi \_\_\_\_\_

Puhelin \_\_\_\_\_

Sähköposti, johon voi lähettää lisätietoa \_\_\_\_\_

?

?

?

?

CHIPASE-projekti (säilytämä kuponki)

?

Ilmainen kehonkoostumusmittaus tutkimukseen osallistuvan lapsen vanhemmalle tutustumis- ja mittauskäynnin yhteydessä. (1)

?

?

?

CHIPASE-projekti (säilytämä kuponki)

?

Ilmainen kehonkoostumusmittaus tutkimukseen osallistuvan lapsen vanhemmalle tutustumis- ja mittauskäynnin yhteydessä. (2)

?

?

?

?

# Lasten fyysisen aktiivisuuden mittaaminen eri menetelmillä

## **Pyyntö osallistua tutkimukseen**

Sinua pyydetään mukaan tutkimukseen, jossa selvitetään eri tapoja mitata fyysistä aktiivisuutta. Kerromme sinulle tutkimuksesta ja sinulla on mahdollisuus esittää kysymyksiä, jonka jälkeen sinulta pyydetään suostumus tutkimukseen osallistumisesta.

Tutkimuksesta vastaava tutkija on professori Taija Juutinen Jyväskylän yliopistosta. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta on arvioinut tutkimussuunnitelman ja antanut siitä puoltavan lausunnon.

## **Vapaaehtoisuus**

Tutkimukseen osallistuminen on sinulle täysin vapaaehtoista ja voit keskeyttää tutkimuksen koska tahansa. Tutkimuksesta kieltäytyminen tai sen keskeyttäminen ei vaikuta millään tavalla tutkijoiden suhtautumiseen sinuun, eikä siitä aiheudu sinulle mitään harmia.

## **Tutkimuksen kulku**

Tutkimuksessa on kaksi osiota, joista ensimmäinen (A) toteutetaan laboratoriossa ja toinen (B) normaalissa arjessa. Lisäksi pyydämme vastaamaan kyselyihin. Tutkimuksen laboratoriomittaukset sisältävät kuusi eri osiota ja ne suoritetaan Jyväskylä yliopiston liikuntalaboratoriossa. Sinulle tulee kaksi tai kolme laboratorioskäyntiä.

### **A) Laboratoriotutkimus sisältää seuraavat osiot:**

**1. Laboratorioskäynti, kesto noin 2h.** Ensimmäiseen laboratorioskäyntiin sinun tulee yön yli kestävä paaston jälkeen. Paasto tarkoittaa sitä, ettei syödä ja juoda 12 tuntiin muuta kuin hieman vettä. Sinulle tarjotaan aamupalaa lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumusmittausten jälkeen.

- 1) **Kehonkoostumuksen, pituuden, painon ja kehon ympäryksen mittaaminen.** Kehonkoostumus mitataan bioimpedanssilaitteella. Sinun tulee seisoa tutkimuksen aikana mittalaitteessa kevyissä vaatteissa. Mittaus kestää noin 5 minuuttia. Kehon ympäryys ja pituus mitataan mittanauhalla.
- 2) **Lepoaineenvaihdunnan mittaamiseen** Sinun tulee maata tutkimuksen aikana hiljaa hengitysmaski kasvoillasi. Saat halutessasi katsella TV:tä mittauksen aikana. Mittaus kestää 30 minuuttia.
- 3) **Liikkumistaitoasi** mitataan testillä, joka sisältää erilaisia liikunnallisia tehtäviä kuten tasapainoilua ja hyppelyä. Jos haluat, tämä testi voidaan tehdä myös erillisellä käyntikerralla.

### **2. Laboratorioskäynti (kesto noin 2h):**

**Laboratorioskäynnin aikana sinulta mitataan sydämen sykettä,**

- 1) **Eritasoisten tehtävien suorittaminen.** Tässä osiossa sinun tulee tehdä erilaisia tehtäviä kuten kirjoittaa, pelata pelejä, kävellä, juosta ja hyppiä.
- 2) **Lihassoiman mittaaminen.** Lihastesi voimaa testataan hyppytestillä sekä mittauslaitteessa istuen, jossa sinua pyydetään jalkojasi täysillä, niin voimakkaasti kuin pystyt.
- 3) **Polkupyöräergometritesti.** Testissä sinun tulee polkea kuntopyörällä niin pitkään kuin jaksat. Vastusta lisätään hiljalleen. Saat lopettaa testin silloin, kun itse haluat. Testi kestää yleensä noin kymmenen minuuttia.

### **B) Viikon seurantajakso päivittäisissä toimissasi:**

taan käyttöön EMG-shortsit, jotka mittaavat lihasten aktiivisuutta. Samana päivänä, kun sinulla on EMG-shortsit päällä, yksi tutkija tulee kirjaamaan liikkumistasi yhden koulupäivän ajaksi.

### **Tutkimuksessa käytettävät mittarit**

**Kiihtyvyyssmittari.** Tutkimuksessa käytetään lantiolle joustavalla vyöllä sekä reiteen teipillä kiinnitettäviä kiihtyvyyssmittareita, jotka taltioivat suoritusten aikana tapahtuvan liikkeen.

**Aineenvaihdunnan mittaamiseen** käytetään liikuteltavaa mittauslaitetta. Hengityskaasujen mittauksen ajaksi sinun kasvoille asetetaan maski, jonka läpi hengität. Lisäksi laitteistoon kuuluu pieni mittausyksikkö, joka tulee joustavalla vyöllä selkääsi kiinni, mutta se ei häiritse liikkumista.

**Lihasakiivisuuden mittaaminen.** Lihasakiivisuutta tutkitaan siihen suunnitelluilla shortseilla. Ne mittaavat ihon pinnalta lihasten sähköistä aktiivisuutta. Ne tuntuvat tavallisilta pyöräilyshortseilta. Voit pukea omat housusi niiden päälle.

**Kuva 1.** Vasemmalla kiihtyvyyssmittarin paikka lantiolla, keskellä polkupyöräergometritesti ja oikealla kehonkoostumusmittaus.

### **Mitä sinä hyödyt tutkimukseen osallistumisesta?**

Saat tietoa miten aktiivinen liikkuja olet, ja mikä on kuntosi. Saat kivan kokemuksen erilaisista mittalaitteista ja tieteellisestä tutkimuksesta.

### **Tutkimuksesta sinulle mahdollisesti aiheutuva haitta**

Liikunta- ja lihasvoimatesteihin liittyy lihas- ja jännerevähdyksen mahdollisuus, mikä ei ole sen suurempi, kuin muissakaan kovissa liikuntasuorituksissa.

Hengityskaasuanalysaattorin maskin läpi voi olla hieman normaalia vaikeampi hengittää, mutta annamme sinulle riittävästi aikaa tottua maskiin ja varmistamme, että hengittäminen sujuu vaivatta. Hengitysmaski voi painaa päätä vasten, mutta asetamme sen sinulle mahdollisimman mukavasti.

Polkupyörätesti poljetaan uupumukseen asti, mikä voi tuntua hetken ajan epämiellyttävältä. Suoritus ei ole kuitenkaan erilainen kuin normaali raskas urheilusuoritus. Saat lopettaa testin, kun itse niin haluat. Sykepan-ta voi joidenkin mielestä tuntua hieman epämiellyttävältä pidettäessä päällä pitkiä ajanjaksoja (voi painaa rintakehää).

# Lasten fyysisen aktiivisuuden mittaaminen eri menetelmillä

## TIEDOTE TUTKITTAVIEN VANHEMMILLE JA SUOSTUMUS TUTKIMUKSEEN OSALLISTUMISESTA

### 1 Tutkijoiden yhteystiedot

#### Vastuullinen tutkija:

- Taija Juutinen, professori, LitT, dosentti. Liikuntabiologian laitos, PL 35 (VIV), 40014 Jyväskylän yliopisto. E-mail: taija.m.juutinen@jyu.fi

#### Muut tutkijat:

- Arja Sääkslahti, LitT, Liikuntatieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto
- Arto Laukkanen, LitT, Liikuntatieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto
- Arto Pesola, LitT, Liikuntatieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto
- Eero Haapala, LitT, Liikuntatieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto
- Gao Ying, tohtorikoulutettava
- Martti Melin, tutkimusavustaja
- Tanja Niemi, tutkimusavustaja

#### Opinnäytteiden tekijät:

- Anssi Vanhala, liikuntafysiologian pääaineopiskelija

### 2 Tutkimuksen taustatiedot

Tutkimus on Opetus- ja kulttuuriministeriön rahoittama ja siinä tutkitaan eri mitausmenetelmien tarkkuutta ja luotettavuutta arvioida lasten fyysistä aktiivisuutta. Tutkimus toteutetaan Jyväskylän yliopiston liikunta- ja terveystieteiden laboratoriossa. Lisäksi lasten fyysistä aktiivisuutta mitataan yhden viikon ajan normaalissa elinympäristössä. Laboratoriomittaukset tehdään kahden tai kolmen laboratorion käynnin aikana.

Tutkimuksessa lapsilta mitataan fyysistä aktiivisuutta erilaisissa fyysiseltä rasittavuudeltaan vaihtelevissa toiminnoissa. Fyysisen aktiivisuuden määrää kysytään kyselylomakkeella ja mitataan eri mittareilla. Lihaskäyttöä mitataan EMG-shortsien avulla, tuotettua liikettä kahdella eri kiihtyvyyssmittarilla ja aineenvaihdunnallisia vaikutuksia hengityskaasuanalysaattorin avulla. Lisäksi sydämen sykettä seurataan sykemittarin avulla. Tutkimuksen alussa lapsilta mitataan lepoaineenvaihdunnan taso ja kehonkoostumus. Lasten liikkumistaitoa sekä hermolihasjärjestelmän ja hengitys- ja verenkiertoelimistön suorituskykyä mitataan niihin soveltuvilla testeillä. Lisäksi havainnointia käytetään fyysisen aktiivisuuden arvioimiseen lasten normaalissa elinympäristössä.



### 3 Tutkimusaineiston säilyttäminen

Tutkimuksen vastuullinen tutkija vastaa tutkimusaineiston säädösten mukaisesta turvallisesta säilyttämisestä. Manuaalinen aineisto (kyselylomakkeet yms.) säilytetään Jyväskylän yliopiston tiloissa lukitussa huoneessa. ATK:lla oleva aineisto koodataan siten, ettei henkilön yksilöllisyyttä pystytä tunnistamaan (annetaan ID numerot), ja säilytetään yliopiston palvelimella, jonne on pääsy tutkijoiden henkilökohtaisilla käyttäjätunnuksilla ja salasanoilla.

### 4 Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys

Istumiskäyttäytymiseen, ja erityisesti sen terveysriskeihin vaikuttamiseksi on erittäin tärkeää pystyä mittaamaan istumista ja liikkumattomuutta tarkasti. Tämä tutkimus selvittää kattavasti lasten jokapäiväisessä elämässä ilmeneviä lihasaktiivisuus- ja kiihtyvyytasoja tuottaen täsmällistä tietoa lasten liikkumattomuudesta suositusten ja istumiskäyttäytymisen vähentämiseen tähtäävien käyttäytymisinterventioiden pohjaksi. Lihasaktiivisuuksia mittaamalla alakouluikäisten lasten normaalin päivän aikana saadaan kuva fyysisen aktiivisuuden ja lihasten inaktiivisuuden yksilöllisestä kirjosta. Esimerkiksi seisominen tai ns. aktiivinen istuminen lisäävät energiankulutusta verrattuna paikoillaan tapahtuvaan istumiseen, mutta näiden erojen tunnistaminen on epävarmaa yleisimmin käytetyillä mittareilla. Liikkeen aikaansaavan lihasaktiivisuuden (EMG:n) mittaaminen tässä tutkimuksessa mahdollistaa liikkumattomuuden käsitteen tarkastelun erittäin pätevällä tavalla. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan lasten liikunta ja liikkumattomuussuosituksia muokata huomioimaan kokonaisvaltaisemmin lapsen kasvuun, kehitykseen ja terveyteen vaikuttavia tekijöitä.

### 5 Menettelyt, joiden kohteeksi tutkittavat joutuvat

Tutkimukseen alussa osallistujille ja heidän vanhemmilleen kerrotaan tutkimuksen kulusta ja siihen liittyvistä menettelyistä ja varataan mahdollisuus esittää kysymyksiä tutkimukseen liittyen. Ennen tutkimusta tutkittavat täyttävät lasten liikuntakäyttäytymistä selvittävän kyselylomakkeen. Lisäksi vanhemmat täyttävät kyselyn perheen sosioekonomisesta asemasta. Tutkimuksessa on kaksi mittausosiota, joista ensimmäinen (A) toteutetaan laboratoriossa ja toinen (B) normaalissa elinympäristössä.

Tutkimuksen laboratoriomittaukset (A) suoritetaan Jyväskylä yliopiston liikuntalaboratoriossa kahden tai kolmen käyntikerran aikana. Ensimmäiseen laboratorioskäyntiin saavutaan aamulla yön yli kestäneen paaston jälkeen. Paastolla tarkoitetaan sitä, ettei syödä ja juoda 12 tuntiin muuta kuin hieman vettä. Lapsille tarjotaan aamupalaa lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumusmittausten jälkeen.

#### A) Laboratoriotutkimus sisältää seuraavat osiot:

##### 1. Laboratorioskäynti, kesto noin 2h (1 h ilman liikkumistaidon testejä)

- 1) **Kehon koostumuksen, pituuden, painon ja kehon ympäröivien kudosten mittaaminen.** Kehon koostumus (rasvan ja rasvattoman kudoksen suhteellinen osuus) mitataan bioimpedanssilaitteella. Tutkimus teh-

- 3) **Liikkumistaitoja** mitataan siihen soveltuvalla lapsille tarkoitetulla testillä, jotka ovat lapselle tyypillisiä liikuntatehtäviä. Nämä testit voidaan tehdä myös erillisellä laboratoriokäynnillä niin sovittaessa.

**2. Laboratoriokäynti, kesto noin 2h.** Käynnin aikana mitataan hengityskaasuja, sydämen sykettä, liikkeen määrää kiihtyvyyksimittareilla ja lihasaktiivisuuksia EMG-shortseilla.

- 1) **Liikuntatehtävät.** Lapset suorittavat kymmenen fyysiseltä rasittavuudeltaan eritasoista lapsille tyypillistä liikuntatehtävää. Tehtävien rasittavuus vaihtelee istuen suoritettavista tehtävistä juoksemiseen ja hyppimiseen. Tutkimushenkilökunta antaa ohjeet tehtävien suorittamisesta ja niitä harjoitellaan ennen suoritusta. Lisäksi lapsia ohjataan suullisesti mittauksen aikana. Yhden tehtävän suoritus-aika on viisi minuuttia ja jokaisen suorituksen välissä on yhden minuutin tauko.
- 2) **Hermolihasjärjestelmän toimintakyvyn mittaaminen.** Hermojen ja lihasten maksimaalista toimintakykyä mitataan hyppytestillä ja alaraajojen ojennustestillä. Hyppytestit sisältävät vauhdittoman ylöspäin suuntautuvan hypyn sekä vauhdittoman pituushypyn. Alaraajojen ojennusvoiman testaaminen tehdään siihen soveltuvassa mittauslaitteessa. Testien avulla saadaan vertailuarvot, joihin lihasaktiivisuusmittauksien tuloksia voidaan suhteuttaa.
- 3) **Polkupyöräergometritesti.** Polkupyöräergometritestillä mitataan maksimaalista hapenottoa, joka kuvaa hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakykyä. Polkemisvastusta lisätään hiljalleen 6 sekunnin välein, jolloin suorituksen rasittavuus lisääntyy. Testiä jatketaan siihen asti, kun tutkittava haluaa lopettaa testin. Testi lopetetaan myös, kun tutkijat havaitsevat, että hapenkulutuksen maksimitaso on saavutettu. Ennen testiä korostetaan, että lapsella on oikeus lopettaa testi missä vaiheessa tahansa ilman että siitä aiheutuu hänelle mitään harmia. Testin kokonaiskesto on noin 8-12 minuuttia.

**B) Mittaaminen normaalissa elinympäristössä.** Viimeisten laboratoriomittausten jälkeen (toinen tai kolmas käynti) tutkittavat saavat mukaansa kiihtyvyyksimittarin, jota pidetään lantiolla valveillaoloaikana 7 päivän ajan. Tutkimushenkilökunta ohjeistaa mittarin käytössä ja pukemisessa. Lisäksi yhden päivän aikana näistä tutkittavat käyttävät EMG-shortseja. Tutkimushenkilökunta toimittaa shortsit mittauspäivän aamuna ennalta sovittuun paikkaan (koti tai koulu) ja auttaa niiden pukemisessa. Samana päivänä, kun tutkittavat käyttävät EMG-shortseja yksi tutkija havainnoi heidän fyysistä aktiivisuutta koulupäivän aikana. Havainnoinnin tarkoituksena on varmistaa mittareiden antamaa tietoa. Tutkittavat täyttävät viikon ajan päiväkirjaa, johon he merkitsevät rasittavat liikuntasuoritukset ja ajat jolloin mittaria on pidetty lantiolla.

**Kiihtyvyyksimittarit.** Tutkimuksessa käytetään lantiolle joustavalla vyöllä kiinnitettävää kiihtyvyyksimittaria, joka tallioi suoritusten aikana tapahtuvan liikkeen. Tulitikkurasian tai lyhyen tussikynän kokoinen mittari ei häiritse luonnollista liikkumista. Lisäksi tutkimuksessa käytetään toista mittaria, joka kiinnitetään etureiteen urheiluteippiä käyttäen. Mittari on pieni ja hyvin kevyt, eikä se häiritse liikkumista. Mittarit toimivat äänettömästi, eivätkä ne purista tai kiristä. Tutkimushenkilökunta kiinnittää mittarit lapselle ja käynnistää ne ennen mittausten alkua. Tämän jälkeen mittarit keräävät automaattisesti suoritusten aikana tapahtuvan liikkeen.

**Aineenvaihdunnan mittaamiseen** käytetään liikuteltavaa hengityskaasuanalyysiaattoria. Hengityskaasujen mittauksen ajaksi lapsen kasvoille asetetaan maski, jonka läpi hengitetään suorituksen aikana. Lisäksi laitteistoon kuuluu pieni ja kevyt mittaussyksikkö, joka kiinnitetään joustavalla vyöllä

**Lihasktiivisuuden mittaaminen.** Lihasktiivisuutta tutkitaan erityisillä EMG-shortseilla, jotka mittaavat ihon pinnalta lihasten sähköistä aktiivisuutta. Lihasktiivisuutta mittaavat shortsit ovat tavalliset pyöräilyshortsit, joiden sisäpinnalle on ommeltu lihasaktiivisuutta mittaavaa kangasta. Mittaus tapahtuu etu- ja takareidestä. Shortsien vyötäröllä on noin tulitikkurasian kokoinen kevyt laite, joka tallentaa signaalin. Mittaushenkilökunta auttaa lapsia shortsien pukemisessa. Shortsit puetaan päälle ennen mittausten aloittamista, minkä jälkeen ne mittaavat automaattisesti suorituksen aikana syntyvän lihasaktiivisuuden. Shortsit otetaan pois päältä illalla ennen nukkumaanmenoa tai ennen suihkuun/uimaan menoa.

## 6 Tutkimuksen hyödyt ja haitat tutkittaville

### Mitä tutkittavat hyötyvät osallistumisestaan tutkimukseen:

Annamme teille palautteen lapsen fyysisestä aktiivisuudesta, motorisista taidoista, kuntotasosta, lihasvoimasta sekä kehon koostumuksesta. Tutkimuspalaute annetaan suoraan huoltajille, jotka voivat päättää, miten ja kuinka laajasti he haluavat niistä lapselleen kertoa. Tutkimusraporttien valmistuttua informoimme teitä sähköpostilla ryhmätason tuloksista. Kaikki mittaukset ovat maksuttomia eikä niistä makseta palkkiota.

### Tutkimukseen liittyvät riskit ja mahdolliset haitat tutkittaville:

*Lihasktiivisuuden mittaaminen:* Shortsien sisäpinnalla on lihasaktiivisuutta mittaavia EMG elektrodia. Elektrodien ja ihon välipintaan laitetaan signaalin kulkua helpottavaa voidetta. Voide voi joskus kutittaa, mutta hyvin harvoin aiheuttaa allergisen reaktion. Mittauksesta ei aiheudu terveydellistä vaaraa eikä mittaukseen liity epämiellyttäviä tuntemuksia.

*Liikkeen määrän mittaaminen:* Liikkeen määrää mitataan kiihtyvyyssmittareilla. Kiihtyvyyssmittarit pidetään joustavassa vyössä lantiolla, sekä reiteen kiinnitettynä. Mittareista ei aiheudu haittaa tutkittaville.

*Aineenvaihdunnan mittaaminen hengityskaasuanalysointilla:* Hengityskaasuanalysointin maski voi tuntua kasvoilla hieman epämiellyttävältä ja kiristysremmit voivat painaa päätä, kun maskia pidetään kasvoilla pidempiä ajanjaksoja. Hengittäminen voi tuntua hieman normaalia vaikeammalta mittaustilanteiden antaman vastuksen vuoksi.

*Liikunta ja toiminnalliset testit:* Liikuntatehtäviin kuten hyppely ja juoksu, liittyy aina pieni vammariski, joka ei kuitenkaan ole suurempi kuin normaalin elämän päivittäisissä toiminnoissa. Maksimivoiman mittaamiseen liittyy pieni lihas- tai jännerevähdyksen mahdollisuus, joka ei kuitenkaan ole sen suurempi kuin normaaleissa päivittäisissä lihaksia voimakkaasti kuormittavissa liikkeissä.

*Polkupyörätesti:* Testi suoritetaan maksimaalisena uupumukseen saakka, jolloin rasitus voi aiheuttaa hetkellistä epämiellyttävää oloa. Tutkimukseen tulee osallistua terveenä, jolloin testi on turvallinen suorittaa. Testi keskeytetään, mikäli tutkittava kokee tai tutkijat havaitsevat normaalia rasituksesta poikkeavia tuntemuksia tai muutoksia.

*Sydämen sykkeen mittaaminen:* Sykettä mitataan sykepinnan ja sykemittarin avulla. Sykepanta voi joidenkin henkilöiden mielestä tuntua hieman epämiellyttävältä pidettäessä päällä pitkiä ajanjaksoja (voi painaa rintakehää).

*Jotkut kysymyslomakkeen kysymykset* perustuvat lapsen omaan käsitykseen siitä, miten hän vertaa itseään toisiin lapsiin. Tämä saattaa jonkun mielestä olla ikävää.

## **7 Miten ja mihin tutkimustuloksia aiotaan käyttää**

Tuloksista tullaan julkaisemaan kansainvälisiä artikkeleita ja tuloksia tullaan esittelemään kansainvälisissä kongresseissa. Opinnäytetyöt julkaistaan Jyväskylän yliopiston kirjaston ohjeiden mukaisesti. Tärkeimmät tutkimustulokset tullaan julkaisemaan suomenkielisissä lehdissä, kuten Liikunta ja Tiede, yleistajuisesti kirjoitettuna. Tutkimuksessa tuotettuja fyysisen aktiivisuuden raja-arvoja hyödynnetään tutkittaessa lasten päivittäistä fyysistä aktiivisuutta normaalissa elinympäristössä. Tutkimustietoa käytetään opetuksessa Jyväskylän yliopistossa ja tutkijoiden pitämässä esitelmissä kansallisissa tapahtumissa kuten Liikkuva koulu - tapahtumat ja muut seminaarit. Tutkimuksen jälkeen, kun tutkimusartikkelit on julkaistu, anonymisoidut tulokset julkaistaan Jyväskylän yliopiston Dataverse Network -alustalla, jotta arvokas tieto saadaan myös muiden tutkijoiden käyttöön. Anonymisointi tarkoittaa, että tulosten perusteella ei ole mahdollista saada selville yksittäisen tutkittavan henkilöllisyyttä.

## **8 Tutkittavien oikeudet**

Osallistuminen tutkimukseen on täysin vapaaehtoista. Lapsella on tutkimuksen aikana oikeus kieltäytyä mittauksista ja keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa syytä ilmoittamatta ja ilman, että siitä aiheutuu teille mitään seuraamuksia. Tutkimuksen järjestelyt, tulosten käsittely ja raportointi ovat luottamuksellisia. Tutkimuksesta saatavat tutkittavien henkilökohtaiset tiedot tulevat ainoastaan tutkittavan ja tutkijaryhmän käyttöön ja tulokset julkaistaan tutkimusraporteissa siten, ettei yksittäistä tutkittavaa voi tunnistaa. Teillä ja lapsilla on oikeus saada lisätietoa tutkimuksesta tutkijaryhmän jäseniltä missä vaiheessa tahansa.

## **10 Vakuutukset**

Jyväskylän yliopiston henkilökunta ja toiminta on vakuutettu. Vakuutus sisältää potilasvakuutuksen, toiminnanvastuuvakuutuksen ja vapaaehtoisen tapaturmavakuutuksen. Tutkimuksissa tutkittavat (koehenkilöt) on vakuutettu tutkimuksen ajan ulkoisen syyn aiheuttamien tapaturmien, vahinkojen ja vammojen varalta. Tapaturmavakuutus on voimassa mittauksissa ja niihin välittömästi liittyvillä matkoilla. Tapaturman lisäksi korvataan vakuutetun erityisen ja yksittäisen voimanponnistuksen ja liikkeen välittömästi aiheuttama lihaksen tai jänteen venähdysvamma, johon on annettu lääkärinhoitoa 14 vuorokauden kuluessa vammautumisesta. Korvausta maksetaan enintään kuuden viikon ajan venähdysvamman syntymisestä. Voimanponnistuksen ja liikkeen aiheuttaman venähdysvamman hoitokuluina ei korvata magneettitutkimusta eikä leikkaustoimenpiteitä.

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

## Lasten fyysisen aktiivisuuden mittaaminen eri menetelmillä (CHIPASE)

### HUOLTAJIEN SUOSTUMUS LAPSEN OSALLISTUMISESTA TUTKIMUKSEEN

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää lasten fyysisen aktiivisuuden määrää erilaisissa päivittäin esiintyvissä toiminnoissa. Tutkimuksessa vertaillaan eri mittareiden antamia aktiivisuusmääriä eri toiminnoille. Tarkoituksena on lisäksi saada selville, mitkä ovat eri aktiivisuustasojen raja-arvot ja mitkä yksilölliset tekijät niihin vaikuttavat.

Lapsen huoltajana olen perehtynyt tutkimuksen tarkoitukseen ja lapseen kohdistuviin mittauksiin (Kyselyt, fyysisen aktiivisuuden mittaaminen eri tehtävissä eri menetelmillä, kehonkoostumuksen ja lepoaineenvaihdunnan mittaaminen, polkupyörätesti sekä hermolihasjärjestelmää mittaavat testit). Voin halutessani peruuttaa tai keskeyttää lapseni osallistumisen missä vaiheessa tahansa syitä ilmoittamatta ja ilman seuraamuksia. Olen keskustellut lapseni kanssa tutkimustiedotteessa kerrotuista asioista ja lapseni on ilmoittanut haluavansa osallistua tutkimukseen.

Peruuttaessani suostumukseni tai keskeyttäessäni tutkimuksen siihen mennessä kerättyjä tietoja ja näytteitä käytetään osana tutkimusaineistoa. Tutkimustuloksia ja kerättyä aineistoa saa käyttää ja hyödyntää sellaisessa muodossa, jossa yksittäistä tutkittavaa ei voi tunnistaa.

Lapseni osallistuu tutkimukseen terveenä. Lapsellani ei ole sellaista sairautta tai vammaa (sydänsairaus tai vastaava), joka voisi olla hänelle haitallista tai vaarallista kovassa fyysisessä kuormituksessa.

Tutkimukseen osallistuvien lapsen/lasten nimet ja syntymäajat (ID:n täyttää tutkija)

LAPSENI SAA OSALLISTUA  
**KYLLÄ**      **EI**  
VAPAAEHTOISENA TUTKITTAVANA

### CHIPASE-TUTKIMUKSEEN

Mikäli myöhemmin ilmenee tarvetta käyttää kerättyjä tietoja tai

**KYLLÄ**      **EI**

näytteitä jatkotutkimuksiin, jotka eivät ole CHIPASE-tutkimuksen alkuperäisen tarkoituksen mukaisia, meihin saa ottaa yhteyttä.

Tutkimukseen osallistuvien lasten nimet ja syntymäajat (ID:n täyttää tutkija)