

**This is a self-archived version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details.**

**Author(s):** Lintu, Niina; Joensuu, Laura; Barker, Alan; Sansum, Kate; Lakka, Timo; Huotari, Pertti; Haapala, Eero

**Title:** Lasten ja nuorten kestävyyskunto

**Year:** 2018

**Version:** Published version

**Copyright:** © Kirjoittajat & Liikuntatieteellinen Seura ry, 2018.

**Rights:** In Copyright

**Rights url:** <http://rightsstatements.org/page/InC/1.0/?language=en>

**Please cite the original version:**

Lintu, N., Joensuu, L., Barker, A., Sansum, K., Lakka, T., Huotari, P., & Haapala, E. (2018). Lasten ja nuorten kestävyyskunto. *Liikunta ja tiede*, 55(4), 36-43. [https://www.lts.fi/media/liikuntatiede-lehden-artikkelit/4\\_2018/lt\\_4-18\\_35-43\\_lowres.pdf](https://www.lts.fi/media/liikuntatiede-lehden-artikkelit/4_2018/lt_4-18_35-43_lowres.pdf)



Kuva: GORILLAKATJA KIRCKER

**Lasten ja nuorten hyvä kestävyyskunto on yhdistetty alhaisempaan sydän- ja verisuonitautien sekä tyypin 2 diabeteksen riskitekijöiden tasoon, parempaan psykososiaaliseen hyvinvointiin sekä parempaan tiedolliseen toimintaan ja koulumenestykseen.**

Teksti: NIINA LINTU, LAURA JOENSUU, ALAN BARKER, KATE SANSUM, TIMO A. LAKKA, PERTTI HUOTARI, EERO A. HAAPALA

# Lasten ja nuorten kestävyyskunto

Kestävyyskunto on yksi tutkituimmista terveyteen ja suorituskykyyn yhdistetyistä fyysisen kunnan osa-alueista lapsilla ja nuorilla. Kestävyyskunnan mittaamiseen, sitä koskevien mittaustulosten tulkintaan, kestävyyskunnan harjoitettavuuteen sekä kestävyyskunnan terveysvaikutusten tutkimiseen lapsilla ja nuorilla liittyy yhä haasteita.

**K**estävyyskunto on moniulotteinen eri ominaisuuksista muodostuva kokonaisuus, jota on mitattu ja määritelty monin eri tavoin. Maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_{2max}$ ) kuvaa suurinta mahdollista hapenkulutuksen tasoa maksimaalisessa kuormituksessa ja sen ajatellaan olevan paras kestävyyskunnan mittari.  $VO_{2max}$  kuvaa verenkierto- ja hengityselimistön kykyä kuljettaa happea työskenteleville luustolihaksille sekä luustolihaksen kapasiteettia hyödyntää happea kuormituksen aikana.  $VO_{2max}$  kuvataan usein Fickin yhtälön avulla, jossa  $VO_{2max}$  kuvaa sydämen minuuttitilavuuden (sydämen iskutilavuus x sydämen lyöntitaajuus) ja maksimaalisen valtimo-laskimohappieron yhteisummaa.  $VO_{2max}$ :n saavuttamisen kriteerinä pidetään usein hapenkulutuksen tasautumista huolimatta kuormituksen lisääntymisestä. 50–90 prosentilla lapsista ja nuorista tätä tasannetta ei kuitenkaan havaita, ja siksi lasten hapenottokyvystä puhuttaessa käytetään usein termiä huippuhapenkulutus ( $VO_{2peak}$ ) (Armstrong ja Welsman 1994).  $VO_{2peak}$ :n on katsottu olevan luotettava maksimaalisen aerobisen tehon mittari (Armstrong ja Welsman 2008).  $VO_{2peak}$ -arvon käyttöä lasten ja nuorten maksimaalisen aerobisen tehon mittarina on kuitenkin kritisoitu ja  $VO_{2max}$ :n varmistamiseksi on suositeltu supramaksimaalista varmistustestiä (Barker ym. 2011; Bhammar ym. 2017) (kts 2.2).

$VO_{2max}$  ei kuvaa kestävyyskunnan kaikkia osa-alueita. Lapsilla ja nuorilla, jotka harvoin liikkuvat maksimaalisella hapenkulutuksen tasolla ja joiden liikunta on intervallityyppistä ja kuormittavuudeltaan vaihtelevaa, hapenkulutuksen kinetiikkaa on alettu pitää hengitys- ja verenkiertoelimistön sekä luustolihaksen ”tosielämän” haasteita kuvaavana mittarina (Armstrong ym. 2011; Armstrong ja McNarry 2016). Hapenkulutuksen kinetiikka kuvaa hengitys- ja verenkiertoelimistön sekä luustolihaksen kykyä kuljettaa ja käyttää happea sekä mukautua supistuvien luustolihassolujen vaihtelevaan energiankulutukseen (Armstrong ja Barker 2009). Lisäksi

lapsen ja nuoren kyky ylläpitää submaksimaalista rasiustasoa on myös käytännöllinen kestävyyskunnan mittari, jota voidaan arvioida esimerkiksi kaasujen vaihtokynnyksen (gas exchange threshold, GET), ventilatorisen kynnyksen tai veren laktaattipitoisuuden (laktaattikynnys) muutosten avulla. Hapenkulutuksen kinetiikkaa, kaasujen vaihtokynnystä, ventilatorista kynnystä ja laktaatin muutoksia liikunnan aikana on käsitelty tarkemmin tämän lehden artikkelissa Haapala ja Ihalainen (2018).

## Kestävyyskunnan mittaaminen

Kahdenkymmenen metrin viivajuoksu on yleisin lasten ja nuorten kestävyyskunnan arvioimiseen käytetty kenttätesti ja se kuuluu esimerkiksi FitnessGram-, Eurofit-, AlphaFit- ja PREFITM -testistöihin ja suomalaiseen Move!-fyysisen toimintakyvyn seurantajärjestelmään. Testi perustuu Legerin ym. (Leger ym. 1984) julkaisemaan testiprotokollaan, jossa 20 metrin matkaa juostaan edestakaisin äänimerkin tahdissa ja vaadittu juoksunopeus kasvaa portaittain noin minuutin välein. Testi päättyy, kun testattava ei enää pysy äänimerkin tahdissa. Testistä on muodostunut kolme yleistä versiota, jotka poikkeavat toisistaan tasojen pituuden ja nopeuden suhteen. Legerin ym. (1984) mukaan ja AlphaFit -protokollissa ensimmäisen tason nopeus on 8,5 kilometriä tunnissa ja Eurofit-protokollassa, jota hyödynnetään Move!-seurantajärjestelmässä, ensimmäisen tason juoksunopeus on 8,0 kilometriä tunnissa ja toisen tason 9,0 kilometriä tunnissa. Queens University of Belfast (QUB) -protokollassa, jota hyödynnetään Kasva Urheilijaksi -testistössä, ensimmäisen tason juoksunopeus on 8,0 kilometriä tunnissa. Kaikissa protokollissa alkunopeuksia seuraavilla tasoilla juoksunopeus kasvaa  $0.5 \text{ km/h}^{-1}$  (Tomkinson ym. 2003). Näiden erojen lisäksi voi samaakin protokollaa noudattavien testien välillä esiintyä vaihtelua eri tasoilla käytettyjen sukkuloiden määrässä. Eri testeil-

lä saatujen tulosten vertailussa tulisikin ensisijaisesti ottaa huomioon testissä saavutettu nopeus (kilometriä tunnissa) juostun ajan, sukkuloiden määrän tai eri tavoin arvioitun  $VO_{2max}$ :n sijaan.

Viivajuoksun on todettu olevan hyvin toistettava ja sen käytettävyys kenttäolosuhteissa on hyvä (Tomkinson ym. 2017). Viivajuoksutestillä arvioitu  $VO_{2max}$  korreloi myös kohtuullisesti mitatun  $VO_{2max}$ :n kanssa, mutta yhteys on heikompi lapsilla kuin aikuisilla. Useissa tutkimuksissa  $VO_{2max}$  on selittänyt noin 50 prosenttia viivajuoksutulosten vaihtelusta (Mayorga-Vega ym. 2015). Testitulosten tulkinnassa on hyvä huomioida, että fysiologisten kestävyysominaisuuksien lisäksi viivajuoksu mittaa yleistä suorituskkyä, motivaatiota ja biomekaanisia ominaisuuksia (Armstrong 2017) sekä rasvakudoksen määrää (Joensuu ym. 2018). Lisäksi kestävyys-sukkulajuoksutestin tulosta voi parantaa ilman muutosta  $VO_{2max}$ :ssä (Harrison ym. 2015)

### Maksimaalisen hapenottokyvyn mittaaminen laboratorio-olosuhteissa

Seuraavassa kuvataan  $VO_{2max}$ :n mittaamisen erityiskysymyksiä lapsilla ja nuorilla nousujohtaisen kuormituskokeen aikana. Lintu ym. ovat julkaisseet polkupyöräergometristin aikana mitatun  $VO_{2peak}$ :n suomalaiset viitearvot 9–11-vuotiailla lapsille (Lintu ym. 2015). Kestävyyskuntoa voidaan arvioida myös ilman hengityskaasuanalyysejä muun muassa polkupyöräergometrillä ja juoksumatolla suoritettussa kuormituskokeessa.

Lasten ja nuorten kuormituskokeen toteuttamiseen pätevät samat peruseräatteen kuin aikuis-

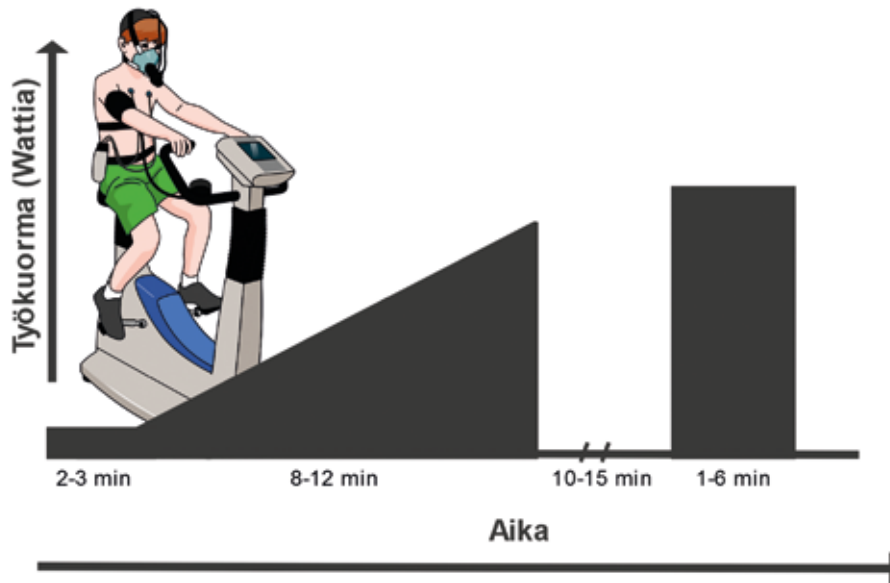
sillakin. Ergometrin valintaan vaikuttaa kuormituskokeen aikana tehtävät muut mittaukset sekä testauksen tarkoitus. Polkupyöräergometri mahdollistaa esimerkiksi tarkemman verenpaineen ja sydänsähkökäyrän mittaamisen kuin juoksumatto. Polkupyöräergometri mahdollistaa paremmin myös työkuorman mittaamisen kuin juoksumatto ja polkupyöräergometrillä voidaan luotettavasti mitata 6–7-vuotiaiden lasten  $VO_{2peak}$  -arvo (Tompuri ym. 2018). Juoksumatto voi olla kuitenkin oikea valinta varsinkin pienemmille lapsille, joille kävely ja juoksu ovat luonnollisempia tapoja liikkua kuin pyöräily ja joiden reisilihasten voima voi rajoittaa suorituskkyä verenkierto- ja hengityselimistöä enemmän. Juoksumattotestiin liittyy kuitenkin kaatumisen riski ja lasten tulee antaa totutella juoksumatolla kävelyyn riittävästi ennen varsinaista kuormituskokeetta. Riippumatta ergometrialinnasta, suoritusmotivaation ja keskittymiskyvyn ylläpitämiseksi lasten kuormituskokeiden tulisi kuormittaa hengitys- ja verenkiertoelimiä maksimaalisesti 8–12 minuutissa (Rowland ym. 2017; Takken ym. 2017). Erilaisia kuormitusprotokollia on paljon ja monilla laboratorioilla on omat kuormitusprotokollansa. Juoksumatolla Bruken ja Balken protokollat ja niiden modifikaatiot ja polkupyöräergometrillä Godfrey, McMasterin ja Jamesin protokollat ovat yleisesti lapsilla ja nuorilla käytettyjä kuormitusmalleja (Taulukko 1) (Rowland ym. 2017).

Lasten kuormituskokeen toteuttamisessa pitää huomioida lasten pienempi koko ja kognitiivinen kehitystaso. Kuormituskokeen eteneminen tulee selittää lapselle selkeästi jännityksen vähentämiseksi sekä väärinkäsitysten välttämiseksi. Polkupyöräergometrin satulan koon, satulakorkeuden,

### TAULUKKO 1. Lapsilla ja nuorilla yleisesti käytettyjä juoksumatto- ja polkupyöräergometri-protokollia.

Protokolla	Kuormitusmalli	Työkuorman lisäys
Juoksumatto		
Muokattu Balke	Portaittainen	Juoksunopeus pysyy samana koko testin ajan (Yleensä 4,8–5,6 km/t). Juoksumaton kaltevuus lisääntyy 2,0–2,5 % /2 min
Polkupyöräergometri		
Godfrey	Portaittainen Ramppi	Vaihtelee lapsen pituuden mukaan <sup>1</sup> : <125 cm = 10 W/min (1 W/6 s) 125–150 cm = 15 W/min (1 W/4 s) >150 cm = 20 W/min (1 W/3 s)
McMaster	Portaittainen	Vaihtelee lapsen pituuden mukaan: ≤119,9 cm = 12,5 W/2 min 120–139,9 cm = 25 W/2 min 140–159,9 cm = 50 W/2 min ≥160 cm (poika) = 50 W/2 min ≥160 cm (tyttö) = 25 W/2 min
James	Portaittainen	Vaihtelee lapsen kehon pinta-alan mukaan (aloitustyökuorma 33 W): <0,99 m <sup>2</sup> = 16,5 W/3 min 1,0–1,19 m <sup>2</sup> = 33 W/3 min ≥2,0 m <sup>2</sup> = 49,5 W/3 min

W = Wattia; <sup>1</sup> suluissa esitetty työkuorman lisääntyminen ramppi-kuormituskokeessa, jossa työkuorma nousee lähes lineaarisesti.



**KUVA 1.** Supramaksimaalisen  $VO_{2max}$ -tuloksen varmistustestin sisältävän nousujohtaisen polkupyöraergometritestiprotokollan eteneminen. Testi sisältää 2–3 minuutin alkulämmittelyjakson ja 8–12 minuutin nousujohtaisen kuormituksen uupumukseen saakka sekä supramaksimaalisen varmistustestin kuormitustasolla, joka vastaa 105–110 prosenttia nousujohteisessa kuormituskokeessa saavutetusta työkuormasta.

poljinkampien pituuden ja kädensijojen tulee olla lapsilla sopivia. Juoksumatot ovat yleensä sopivia lapsille ja nuorille, mutta niihin suositellaan kaiteita tai valjaita turvallisuuden lisäämiseksi. Myös hengityskaasujen mittaamisen käytetty laitteisto tulee olla lapsille sopiva. Liian suuri suokappale/suun ja nenän peittävä maski lisää kertaalleen hengitetyn ilman sisäänhengitystä, altistaa vuodoille ja mittausvirheille. Koska lasten kuormituskokeiden kesto on verrattain lyhyt,  $VO_2$ :n keskiarvoistamiseen suositellaan 15–20 sekunnin ja maksimissaan 30 sekunnin intervaleille (Rowland ym. 2017).

#### Testin maksimaalisuuden arviointi

Vaikka  $VO_{2peak}$  usein kuvaa maksimaalista aerobista tehoa, ilman säännönmukaista  $VO_2$ :n tasautumista maksimaalisen kuormituskokeen aikana, testin maksimaalisuuden määrittämiseen on käytetty erilaisia fysiologisia (esimerkiksi hengitysosamäärä [RER]  $>1,0$  tai  $>1,1$ , syke 195 lyöntiä minuutissa tai  $>85$  prosenttia arvioidusta maksimisykkeestä, veren laktaattipitoisuus  $\geq 6$  mmol/L-1) ja subjektiivisia (esimerkiksi koordinaation heikkeneminen, hikoilu) rasitustason indikaattoreita (Takken ym. 2017). Nämä raja-arvot voivat kuitenkin aliarvioida  $VO_{2max}$ :ia lapsilla (Barker ym. 2011; Poole ja Jones 2017) ja siksi lyhyttä supramaksimaalista testiä, jossa työkuorman suuruus säilyy muuttumattomana, on käytetty varmistamaan erityisesti nousujohtaisen polkupyöraergometritestin  $VO_{2max}$ -tulosta (Kuva 1). Varmistustestiä voidaan hyödyntää myös juoksumattotestien tulosten varmistamisessa. Varmistus-

testissä käytetään yleensä työkuormaa, joka vastaa 105–110 % nousujohteisessa kuormituskokeessa saavutetusta työkuormasta (Barker ym. 2011; Poole ja Jones 2017). Supramaksimaalinen varmistustesti on hyvin siedetty ja tarjoaa objektiivisen tavan arvioida  $VO_{2max}$ :n saavuttamista kuormituskokeessa, joka on erityisen tärkeää liikuntaohjelmien tehokkuuden arvioimisessa (Poole ja Jones 2017). Vaikka supramaksimaalinen testi on suositeltu, osalla lapsista ja nuorista (n. 10–30 %) se ei kuitenkaan pysty varmistamaan  $VO_{2max}$ :ia (Barker ym. 2011; Robben ym. 2013).

#### Kestävyyskunnan muutokset kasvun ja kypsymisen aikana

Perimä selittää noin 50 prosenttia  $VO_{2max}$ :n vaihtelusta yksilöiden välillä aikuisilla (Malina ym. 2004) ja perimä vaikuttaa myös kestävyyskunnan kehittymiseen lapsuudessa ja nuoruudessa. Seuraavassa ei käsitellä perimän vaikutusta  $VO_{2max}$ :iin, mutta on hyvä muistaa, että perimä selittää lapsen ja nuoren kasvua ja kypsymistä sekä kestävyyskuntoa.

*Muutokset absoluuttisessa maksimaalisessa hapenotto-kyvyssä*

Absoluuttinen  $VO_{2max}$  kasvaa kahdeksan ja 16 vuoden iän välillä pojilla keskimäärin 150 prosenttia ja tytöillä 80–98 prosenttia. Pitkittäistutkimuksissa, joissa kestävyyskunnan kehitystä on seurattu samoilta lapsilla usean vuoden ajan, on havaittu  $VO_{2max}$ :in

kehittyvän pojilla lapsuudesta aina 18-vuoden ikään saakka (Armstrong ja Welsman 1994, 2001b; Armstrong ja McManus 2017). Pojilla  $VO_{2max}$ :n on joissain tutkimuksissa havaittu kasvavan nopeimmin murrosiän kasvupyrähdysten aikana eli noin 13–15 vuotiaana. Tulokset eivät kuitenkaan ole yksiselitteisiä, sillä osassa tutkimuksista suurin  $VO_{2max}$ :n kasvu on havaittu kolme vuotta ennen murrosiän kasvupyrähdystä ja joissain tutkimuksista puolestaan yksi vuosi murrosiän kasvupyrähdysten jälkeen. Tytöillä absoluuttisen maksimaalisen hapenottokyvyn kasvu näyttäisi tasautuvan noin 14-vuoden iässä (Armstrong ja McManus 2017).

#### *Muutokset kehon kokoon suhteutetussa maksimaalisessa hapenottokyvyssä*

Kun  $VO_{2max}$  suhteutetaan kehon kokonaispainoon, poikien keskimääräinen  $VO_{2max}$  pysyy melko vakaina noin 48–52 mL/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup> kahdeksan ja 18-ikävuoden välillä, mutta tyttöjen keskimääräinen  $VO_{2max}$  laskee noin 45:stä 35:een mL/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup>. Kehon kokonaispainon käyttöä kehon koon huomiomisessa on kuitenkin kritisoitu pitkään (Armstrong ja Welsman 1994). Tyttöjen  $VO_{2max}$ :n laskua selittää suureksi osaksi tyttöjen runsaampi rasvamassan lisääntyminen kasvun ja kypsymisen aikana. Kun kehon kokonaispaino kontrolloidaan allometrisen mallinnuksen avulla, poikien  $VO_{2max}$ :n on havaittu kasvavan lapsuudesta nuoreen aikuisuuteen ja tytöillä 11–13 ikävuoteen saakka, jonka jälkeen  $VO_{2max}$  pysyy tasaisena sen sijaan että se laskisi (Welsman ym. 1996). Tutkimusnäyttö rasvattomaan pehmytkudossaan tai lihasmassaan suhteutetun  $VO_{2max}$ :n kehityksestä poikittais- tai pitkittäistutkimuksista on vähäistä, mutta ihopoimiumittauksen perusteella arvioidun rasvattoman massan on havaittu poistavan kehon kokonaispainoa paremmin kehon koon vaikutuksen  $VO_{2max}$ :iin myös pitkittäistutkimuksissa (Janz ym. 1998). Rasvattoman pehmytkudossan lisääntymisen on puolestaan havaittu olevan hyvin vahva  $VO_{2max}$ :n muutosta selittävä tekijä lapsilla ja nuorilla kasvun aikana (Armstrong ja Welsman 2001b).

Kestävyyskunnan muutosten tulkinnessa pitää ottaa huomioon myös se, että  $VO_{2max}$ :n kehitys ei kuvaa esimerkiksi kestävyysjuoksukyvyn kehitystä. Siinä missä poikien kehon painoon suhteutettu  $VO_{2max}$  pysyy vakaina ja tytöillä laskee, kestävyysjuoksusuorituskyky paranee sekä tytöillä että pojilla (Rowland 2013; Armstrong 2017).  $VO_{2max}$ :n muutos ei siten yksin selitä kestävyysjuoksukyvyn muutoksia kasvun aikana, vaan lapsen kasvaessa ja kypsyessä esimerkiksi juoksun taloudellisuus ja anaerobinen kapasiteetti paranevat sekä kehon koko kasvaa, ja nämä tekijät ovat yhteydessä parantuneeseen kestävyysjuoksukykyyn.

#### *Sukupuolten väliset erot kestävyyskunnossa*

Poikien kestävyyskunto on noin kuusi prosenttia tyttöjen kestävyyskuntoa korkeampi 6–8 vuoden iässä (Lintu ym. 2014). Sukupuolten välinen ero suurenee iän lisääntyessä sen ollessa 10-vuotiailla lapsilla noin 12 prosenttia 16-vuotiailla nuorilla noin 35 prosenttia. Sukupuolten välisiä eroja kestävyyskunnossa

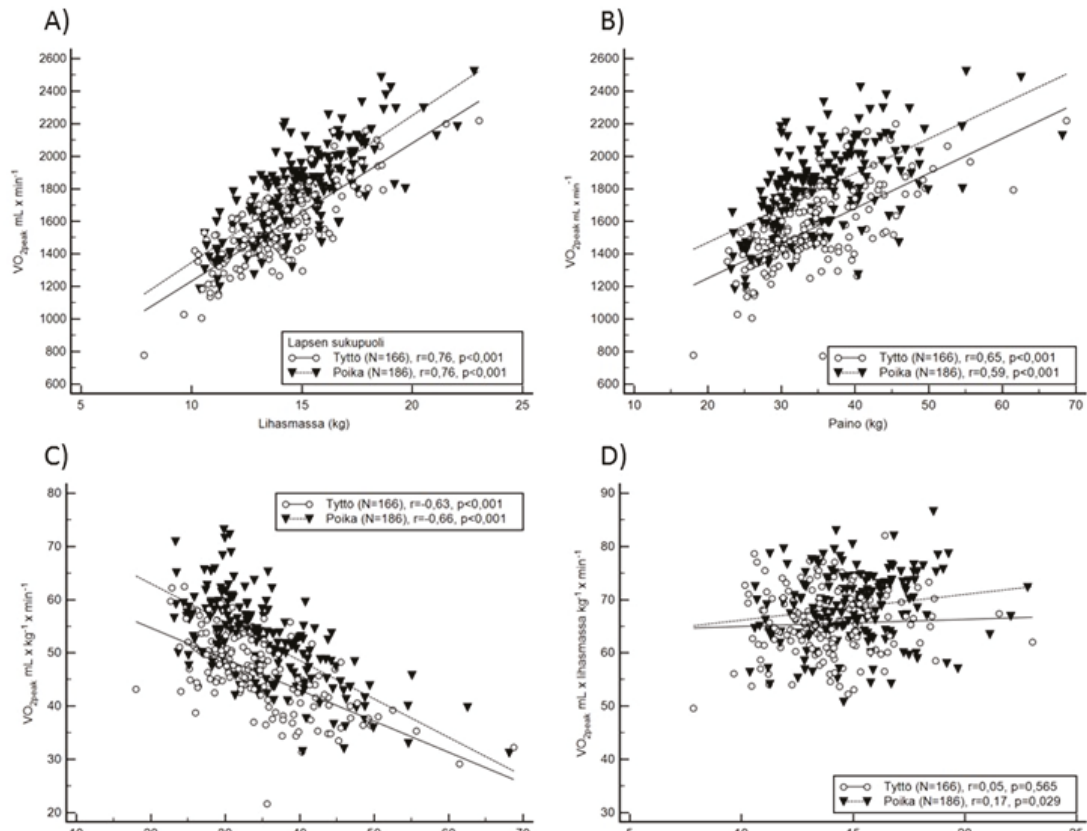
selittää varsinkin murrosiän aikana runsaampi lihasmassan lisääntyminen pojilla kuin tytöillä. Lihaskudos lisää hapenkäyttöä kuormituksen aikana ja lisää laskimopaluuta sydämeen ja siten edistää sydämen minuuttitilavuuden kasvua (Rowland ja Unnithan 2013). Sukupuolieroja selittävä tekijä voi olla myös poikien korkeampi hemoglobiinipitoisuus, mutta tulokset ovat ristiriitaisia. Joissain tutkimuksissa on myös havaittu, että maksimikuormituksessa valtimo-laskimo-happiero on noin 17 prosenttia pienempi tytöillä kuin pojilla, mutta tutkimusta aiheesta on vielä vähän. Lisäksi poikien runsaammalla reippaalla liikunnalla voi olla merkitystä kestävyyskunnan eroissa sukupuolten välillä, mutta lapset ja nuoret harvoin liikkuvat kestävyyskuntoa parantavalla teholla (Armstrong ym. 2011). Päivittäisen fyysisen aktiivisuuden ja  $VO_{2max}$ -arvon välisissä yhteyksissä on huomioitava myös se, että fyysisen aktiivisuuden ja erityisesti reippaan fyysisen aktiivisuuden määrä vähenee iän lisääntyessä, kun taas  $VO_{2max}$  puolestaan kasvaa tai pysyy samana (Eisenmann ja Wickel 2009; Armstrong ym. 2011; Armstrong 2017). Liikuntaharjoittelun on kuitenkin johdonmukaisesti havaittu parantavan  $VO_{2peak}$ :iä 8–9 prosenttia, mutta liikunnan kuormittavuuden tulee olla korkeampi lapsilla kuin aikuisilla harjoitusvaikutusten aikaansaamiseksi (Armstrong ym. 2011; Haapala ja Ihalainen 2018).

### **Kehon koon vaikutus kestävyyskuntoon**

$VO_{2max}$  on vahvasti yhteydessä sekä lihasmassaan (Kuva 2A) että kehon kokonaismassaan (Kuva 2B). Yksilöiden välisen vertailun mahdollistamiseksi tulee käyttää kehon koon huomioivaa  $VO_{2max}$ -muuttujaa.  $VO_{2max}$ :n muuttujan, jossa kehon koko on otettu asianmukaisesti huomioon, ei tulisi kuitenkaan olla yhteydessä jakajaansa. (Armstrong ja McManus 2017). Yleisimmin kehon koko huomioidaan jakamalla  $VO_{2max}$  kehon kokonaispainolla, jolloin kehon painon ja kehon painolla jaetun  $VO_{2max}$ :n välille muodostuu voimakas negatiivinen korrelaatio (Kuva 2C), mikä voi johtaa virheellisiin tulkintoihin. Kehon kokonaispainon sijasta lihasmassaa pidetään fysiologisesti parhaana tapana suhteuttaa  $VO_{2max}$ -kehon kokoon (Loftin et al. 2016). Luustolihas on liikunnan aikana aineenvaihdunnallisesti aktiivinen kudos, joka myös lisää laskimopaluuta, sydämen lyöntitaajuutta ja sydämen minuuttitilavuutta ja on siten  $VO_{2max}$ :ä määrittävä tekijä. Lihasmassalla jakaminen poistaa useimmissa tapauksissa myös kehon koon vaikutuksen  $VO_{2max}$ :n (Kuva 2D).

#### *Kestävyyskunnan suhteuttaminen kehon kokoon allometrian avulla*

Koska lihasmassa ei aina ole kaikissa tutkimuksissa ja käytännön työssä helposti mitattavissa, voidaan kehon koon vaikutus  $VO_{2max}$ :iin ottaa huomioon erilaisilla tilastollisilla menetelmillä. Tässä artikkelissa käsitellään  $VO_{2max}$ -arvon suhteuttamista kehon kokoon log-lineaarisen allometrian avulla. Lineaarisen regressiomallinnukseen ja pitkittäistutkimuksissa käytettyyn monitasomallinnukseen voi



**KUVA 2. Kehon koon vaikutus huippuhapenkulutukseen ja eri suhteuttamistapojen kyky poistaa kehon koon vaikutus huippuhapenkulutukseen 9–11-vuotiailla lapsilla. Tulokset perustuvat Lasten liikunta ja ravitsemus -tutkimuksen aineistoon.**

tutustua esimerkiksi seuraavien artikkelien avulla (Welsman ym. 1996; Armstrong ja Welsman 2001a).

Allometrinen log-lineaarinen mallinnus kuvaa suhteellista käyräviivaista yhteyttä kahden muuttujan välillä ja se voidaan esittää kaavalla  $Y/X^b$ . Kaavassa eksponentti  $b$  kuvaa näiden kahden muuttujan välisen yhteyden kaarevuutta. Käytännössä logaritmisessa allometriassa tarkastellaan logaritmi-muunnettujen  $VO_{2peak}$ -arvon ja kehon kokoa kuvaavan muuttujan välistä kulmakerrointa pienimmän neliösumman menetelmällä lineaarisessa regressiomallissa. Esimerkiksi kehon painolla jaettaessa tämän kulmakertoimen oletetaan olevan 1, jolloin kehon paino ja  $VO_{2peak}$  kasvaisivat suorassa suhteessa, mutta kulmakerroin voi väestöstä riippuen vaihdella 0,30:sta yli yhteen (Loftin et al. 2016). Esimerkissä käytetyssä Lasten liikunta ja ravitsemus -tutkimuksen aineistossa sukupuoli- ja ikävakioidun kulmakerroin oli 0,49, joka tarkoittaa sitä, että  $VO_{2peak}$  kasvaa hitaammin kuin kehon paino. Tätä kulmakerrointa käytetään kehon painon eksponenttina, jolloin  $VO_{2peak}$  esitetään arvona  $mL/kg^{0,49}/min^{-1}$ . Tällä tavalla normalisoitu  $VO_{2peak}$  ei ole yhteydessä kehon painoon, jolloin allometrian voidaan katsoa poistaneen kehon koon vaikutuksen  $VO_{2peak}$ :iin.

Loftin ym. (2016) suosittelivat allometristen menetelmien käyttöä myös silloin, kun lihasmas-

salla jaettu  $VO_{2peak}$  on yhteydessä jakajaansa eli lihasmassaan, kuten pojilla kuvassa 2D. Esimerkissä käytetyssä aineistossa sukupuoli- ja ikävakioidun  $VO_{2peak}$ :in ja lihasmassan välinen kulmakerroin on 0,77, jolloin kehon koosta riippumaton muuttuja muodostetaan nostamalla lihasmassa (kg) potenssiin 0,77 ( $VO_{peak} mL/kg^{0,77}/min^{-1}$ ), jolloin  $VO_{2peak}$  jaettuna lihasmassalla ( $kg^{0,77}$ ) ei ole yhteydessä lihasmassaan.

#### *Kehon koon huomioimisen merkitys*

Kehon koon huomioonottaminen on erityisen tärkeää, kun tutkitaan kestävyyskunnan yhteyksiä terveyteen. On huomioitava, että  $VO_{2peak}$  jaettuna kehon painolla on suuresti riippuvainen kehon rasvapitoisuudesta, joka puolestaan on voimakkaasti yhteydessä valtimotautien riskitekijöihin. Tästä johtuen kehon painolla jaetun  $VO_{2peak}$ :in yhteydet terveyteen usein ylikorostuvat, koska se kuvaa osittain myös kehon rasvapitoisuutta. Myöskään allometristen menetelmien käyttö ei täysin poista kehon rasvapitoisuuden vaikutusta tutkittaessa kehon painolla jaetun  $VO_{2peak}$ :in ja terveyden yhteyksiä, sillä kehon paino sisältää sekä lihasmassan että rasvamassan.  $VO_{2peak}$  jaettuna ja tarvittaessa allometrisesti mallinnetulla pehmytkudossamalla paitsi poistaa kehon koon vaikutuksen  $VO_{2peak}$ -arvoon myös on tehokas

keino vähentää kehon rasvapitoisuuden vaikutusta kestävyyskunnan terveysyhteyksiin. Toinen, joskin harvemmin käytetty muuttuja otettaessa huomioon kehon koko on seisomapituus, jonka on havaittu poistavan yhteyden kehon rasvamassaan 6–8-vuotiailla lapsilla (Tompuri ym. 2015). Kehon painolla suhteutetulla  $VO_{2peak}$ :llä on kuitenkin paikkansa, sillä se antaa arvon kestävyys suorituskyvystä sekä toimintakyvystä, eli kyvystä juosta pidempään ja nopeammin ja toimia arjessa väsymättä liikaa, jotka ovat keskeisiä elementtejä lasten ja nuorten arjessa sekä liikunnan harrastamisessa (Armstrong ym. 2011).

### Lasten ja nuorten kestävyyskunnossa tapahtuneet muutokset viime vuosikymmeninä

Väestötöissä toteutettujen pitkittäistutkimusten mukaan lasten ja nuorten kestävyyskunto 20 metrin viivajuoksu testillä mitattuna on heikentynyt maailmanlaajuisesti viimeksi kuluneiden 30 vuoden aikana; huomattavin muutos on tapahtunut kuitenkin 1980-luvulta 2000-luvulle tultaessa (Tomkinson ym. 2003; Huotari ym. 2010; Armstrong ym. 2011). Vaikka tulokset eivät 2000-luvulla ole enää heikentyneet merkittävästi, ero heikoimpien ja parhaimpien tulosten välillä on kasvanut (Palomäki ym. 2014). Näyttö  $VO_{2max/peak}$ :n muutoksista laajoissa väestöpohjaisissa aineistoissa on vähäistä, mutta eräiden tutkimusten mukaan  $VO_{2max/peak}$  ei ole muuttunut merkittävästi huolimatta viivajuoksu tulosten heikkenemisestä (Eisenmann ja Malina 2002; Armstrong ym. 2011). Arvioiden mukaan lisääntynyt ylipainisuus selittää 20 metrin viivajuoksu tulosten heikkenemisestä 40–60 prosenttia. Lisäksi motivaatiotekijät, tottumattomuus maksimaaliseen suoritukseen, motoristen taitojen heikkeneminen sekä monet muut tekijät voivat selittää 20 metrin kestävyyskukulajuoksu tulosten heikkenemistä. Vaikka tulokset eivät yksiselitteisesti tue käsitystä lasten ja nuorten kestävyyskunnan laskusta, fyysinen toimintakyky näyttäisi heikentyneen.

### Kestävyyskunto ja hyvinvointi

Eri tavoin mitattu hyvä kestävyyskunto on yhdistetty alhaisempaan sydän- ja verisuonitautien sekä tyypin 2 diabeteksen riskitekijöiden tasoon (Lang ym. 2018), vähäisempiin kiputiloihin (Vierola ym.

2016), parempaan psykososiaaliseen hyvinvointiin (Ikävalko ym. 2018) sekä parempaan tiedolliseen toimintaan ja koulumenestykseen (Donnelly ym. 2016) lapsilla ja nuorilla. Suurin osa näistä tutkimuksista on kuitenkin käyttänyt kestävyyskunnan mittaamiseen joko viivajuoksu testiä tai suhteuttanut kestävyyskunnan kehon painoon (kts. 2.1 ja 3.1 näiden toimintatapojen ongelmallisuudesta). Kestävyyskunnan suhteuttaminen lihassmassaan tai rasvattomaan massaan heikentää huomattavasti kestävyyskunnan ja terveyden indikaattorien välistä yhteyttä (Shaibi ym. 2005; McMurray ym. 2011; Ahn ym. 2013). Parempaan viivajuoksu tuloksen sekä kehon painoon suhteutetun maksimaalisen työkuorman ( $W_{max}$ ) on havaittu vähentävän ylipainon haitallista vaikutusta kardiometaboliseen kokonaisriskiin ja insuliiniresistenssiin (Nyström ym. 2017; Kemppainen 2018).  $W_{max}$  suhteutettuna rasvattomaan pehmytkudosmassaan ei kuitenkaan ollut yhteydessä kardiometaboliseen riskiin tai insuliiniresistenssiin normaalipainoisilla eikä ylipainoisilla lapsilla (Kemppainen 2018). Kehon painolla suhteuttaminen näyttäisi liioittelevan kestävyyskunnan merkitystä metabolisen oireyhtymän ja insuliiniresistenssin ehkäisyssä. Korkeampi rasvattomaan pehmytkudosmassaan tai rasvattomaan massaan suhteutettu kestävyyskunto on kuitenkin yhdistetty joustavampiin valtimoihin sekä lapsilla että nuorilla (Veijalainen ym. 2016; Haapala ym. 2017; Haapala ym. 2018) riippumatta kehon rasvaprosentista.

Kardiometabolisen kokonaisriskin ennaltaehkäisy kannalta riittäväksi  $VO_{2max}$ :n raja-arvoksi kestävyyskukulajuoksu testin tulosten perusteella on arvioitu 40–44 mL/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup> pojilla ja 35–40 mL/kg/min tytöillä riippuen iästä (Adegboye ym. 2011; Laurson ym. 2011). Suoraan mitatun  $VO_{2max/peak}$ :n terveyteen liittyvistä raja-arvoista tiedetään vielä vähän, mutta alle 44 mL/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup> on havaittu oleva yhteydessä kohonneeseen kardiometaboliseen kokonaisriskiin 9–11-vuotiailla pojilla ja tytöillä (Agbaje ym. julkaisematon havainto). Lisäksi rasvattomaan pehmytkudosmassaan suhteutetulla  $VO_{2peak}$ :illä, joka oli alle 63 mL/min, oli heikko yhteys kohonneeseen kardiometaboliseen kokonaisriskiin pojilla mutta ei tytöillä (Agbaje ym. julkaisematon havainto).  $VO_{2peak}$ :illä, joka oli alle 35 mL/kg<sup>-1</sup>/min<sup>-1</sup>, puolestaan havaittiin olevan yhteys kohonneeseen valtimojäykkyyteen nuorilla, mutta vastaava yhteyttä ei havaittu kehon rasvattomaan massaan suhteutetulla  $VO_{2peak}$ :illa (Haapala ym. 2017).



**NIINA LINTU, FT**  
 Tutkijatohtori  
 Biolääketieteen yksikkö  
 Itä-Suomen yliopisto  
 Sähköposti: niina.lintu@uef.fi

**LAURA JOENSUU, LitM**  
 Tohtorikoulutettava  
 Liikuntatieteellinen tiedekunta  
 Jyväskylän yliopisto  
 LIKES-tutkimuskeskus  
 Sähköposti: laura.joensuu@likes.fi

**ALAN BARKER, PhD**  
 Senior lecturer in paediatric exercise and health  
 Children's Health and Exercise Research Centre,  
 University of Exeter  
 Sähköposti: a.r.barker@exeter.ac.uk

**KATE SANSUM, Undergraduate student**  
 Research student  
 Children's Health and Exercise Research Centre,  
 University of Exeter  
 Sähköposti: k.sansum@exeter.ac.uk

**TIMO A. LAKKA, LT**  
 Professori  
 Biolääketieteen yksikkö  
 Itä-Suomen yliopisto  
 Sähköposti: timo.lakka@uef.fi

**PERTTI HUOTARI, LitT**  
 Lehtori  
 Liikuntatieteellinen tiedekunta,  
 Jyväskylän yliopisto  
 Sähköposti: pertti.huotari@jyu.fi

**EERO A. HAAPALA, FT**  
 Tutkijatohtori  
 Liikuntatieteellinen tiedekunta  
 Jyväskylän yliopisto  
 Biolääketieteen yksikkö  
 Itä-Suomen yliopisto  
 Sähköposti: eero.a.haapala@jyu.fi

#### LÄHTEET:

**Adegboye, AR. Anderssen, SA. Froberg, K. ym.** 2011. Recommended aerobic fitness level for metabolic health in children and adolescents: a study of diagnostic accuracy. *British Journal of Sports Med* 45, 722–728.

**Ahn, B. McMurray, R. Harrell, J.** 2013. Scaling of VO<sub>2</sub>max and Its Relationship With Insulin Resistance in Children. *Pediatric Exercise Science* 25, 43–51

**Armstrong, N.** 2017. Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 88, 130–148.

**Armstrong, N. Barker, AR.** 2009. Oxygen Uptake Kinetics in Children and Adolescents : A Review. *Pediatric Exercise Science* 21, 130–147.

**Armstrong, N. McManus, A.** 2017. Aerobic fitness. Teoksessa: Armstrong, N., van Mechelen, W. (eds) *Oxford Textbook of Children's Sport and Exercise Medicine*. Oxford University Press, Oxford, pp 495–568

**Armstrong, N. McNarry, M.** 2016. Aerobic Fitness and Trainability in Healthy Youth: Gaps in Our Knowledge. *Pediatric Exercise Science* 28, 171–177.

**Armstrong, N. Tomkinson, G. Ekelund, U.** 2011. Aerobic fitness and its relationship to sport, exercise training and habitual physical activity during youth. *British Journal of Sports Medicine* 45, 849–858.

**Armstrong, N. Welsman, J.** 2001. Peak oxygen uptake in relation to growth and maturation in 11- to 17-year-old humans. *European Journal of Applied Physiology* 85, 546–551.

**Armstrong, N. Welsman, J.** 1994. Assessment and Interpretation of Aerobic Fitness in Children and Adolescents. *Exercise and Sport Science Reviews* 22, 435–476

**Armstrong, N. Welsman, J.** 2008. Aerobic fitness. Teoksessa: Armstrong, N., van Mechelen, W. (eds) *Paediatric Exercise Science and Medicine*, 2. painos. Oxford University Press, Oxford.

**Barker, AR. Williams, CA. Jones, AM. Armstrong, N.** 2011. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion. *British Journal of Sports Medicine* 45, 498–503.

**Bhammar, DM. Stickford, JL. Bernhardt, V. Babb, TG.** 2017. Verification of maximal oxygen uptake in obese and nonobese children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 49, 702–710.

**Donnelly, JE. Hillman, CH. Castelli, D. ym.** 2016. Physical Activity, Fitness, Cognitive Function, and Academic Achievement in Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48, 1197–1222.

**Eisenmann, JC. Malina, RM.** 2002. Secular trend in peak oxygen consumption among United States youth in the 20th century. *American Journal of Human Biology* 14, 699–706.

**Eisenmann, JC. Wickel, EE.** 2009. The biological basis of physical activity in children: revisited. *Pediatric Exercise Science* 21, 257–272

**Haapala, EA. Ihalainen, JK.** 2018. Fysiologiset vasteet liikuntaan lapsilla ja nuorilla. *Liikunta & Tiede*.

**Haapala, EA. Lankhorst, K. de Groot, J. ym.** 2017. The associations of cardiorespiratory fitness, adiposity and sports participation with arterial stiffness in youth with chronic diseases or physical disabilities. *European Journal of Preventive Cardiology* 24, 1102–1111.

**Haapala, EA. Laukkanen, JA. Takken, T. Kujala, UM. Finni, T.** 2018. Peak oxygen uptake, ventilatory threshold, and arterial stiffness in adolescents. *European Journal of Applied Physiology* 2018 (hyväksytty julkaistavaksi)

**Harrison, CB. Gill, ND. Kinugasa, T. Kilding, AE.** 2015. Development of Aerobic Fitness in Young Team Sport Athletes. *Sport Medicine* 45, 969–983.

**Huotari, PRT. Nupponen, H. Laakso, L. Kujala, UM.** 2010. Secular trends in aerobic fitness performance in 13-18-year-old adolescents from 1976 to 2001. *British Journal Sports Medicine* 44:968–72.

**Ikävalko, T. Lehto, S. Lintu, N. ym.** 2018. Health-related correlates of psychological well-being among girls and boys 6-8 years of age: The Physical Activity and Nutrition in Children study. *J Paediatr Child Health* 54, 506–509.

**Janz, K. Burns, T. Witt J. Mahoney, L.** 1998. Longitudinal analysis of scaling VO<sub>2</sub> for differences in body size during puberty : the Muscatine Study. *Medicine & Science in Sport & Exercise* 30, 1436–1444

- Joensuu, L. Syväoja, H. Kallio, J. ym.** 2018. Objectively measured physical activity, body composition and physical fitness: Cross-sectional associations in 9- to 15-year-old children. *European Journal of Sport Science* (julkaistu verkossa)
- Kemppainen, T.** 2018. Kestävyyshyönteiden ja kehon rasvapitoisuuden yhteydet metaboliseen oireyhtymään ja insuliiniresistenssiin 6–8-vuotiailla lapsilla. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu.
- Lang, JJ. Belanger, K. Poitras, V. Janssen, I. Tomkinson, GR. & Tremblay, MS.** 2018. Systematic review of the relationships between 20m shuttle run performance and health indicators among children and youth. *Journal of Science and Medicine in Sport* 21, 383–397.
- Laurson, KR. Eisenmann, JC. Welk, GJ.** 2011. Development of youth Aerobic Capacity Standards using receiver operating characteristic curves. *American Journal of Preventive Medicine* 41, 111–116.
- Leger, L. Lambert, J. Goulet, A. ym.** 1984. Capacité Aérobie Des Québécois de 6 À 17 Ans - Test Navette de 20 Mètres Avec Paliers de 1 Minute. *Canadian Journal of Applied Sport Science* 9, 64–69.
- Lintu, N. Tompuri, T. Viitasalo, A. ym.** 2014. Cardiovascular fitness and haemodynamic responses to maximal cycle ergometer exercise test in children 6–8 years of age. *Journal of Sports Science* 32, 652–659.
- Lintu, N. Viitasalo, A. Tompuri, T. ym.** 2015. 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, 235–243.
- Loftin, M. Sothorn, M. Abe, T. Bonis, M.** 2016. Expression of VO<sub>2peak</sub> in Children and Youth, with Special Reference to Allometric Scaling. *Sports Medicine* 1451–1460.
- Malina, RM. Bouchard, C. Bar-Or, O.** 2004. Growth, Maturation, and Physical Activity, 2. ed. Human Kinetics, Champaign
- Mayorga-Vega, D. Aguilar-Soto, P. Viciano, J.** 2015. Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *Journal Sport Science and Medicine* 14, 536–547.
- McMurray, RG. Hosick, PA. Bugge, A.** 2011. Importance of proper scaling of aerobic power when relating to cardiometabolic risk factors in children. *Annals of Human Biology* 38, 647–54.
- Nyström, CD. Henriksson, P. Martínez-Vizcaino, V. ym.** 2017. Does cardiorespiratory fitness attenuate the adverse effects of severe/morbid obesity on cardiometabolic risk and insulin resistance in children? A pooled analysis. *Diabetes Care* 40, 1580–1587.
- Palomäki, S. Heikinaro-Johansson, P. Huotari, P.** 2014. Cardiorespiratory performance and physical activity in normal weight and overweight Finnish adolescents from 2003 to 2010. *Journal of Sports Science* 33, 588–596.
- Poole, DC. Jones, AM.** 2017. Measurement of the Maximum Oxygen Uptake (VO<sub>2max</sub>): VO<sub>2peak</sub> is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology* 122, 997–1002.
- Robben, KE. Poole, DC. Harms, CA.** 2013. Maximal oxygen uptake validation in children with expiratory flow limitation. *Pediatric Exercise Science* 25, 84–100.
- Rowland, T.** 2013. Oxygen Uptake and Endurance Fitness in Children, Revisited. *Pediatric Exercise Science* 25, 508–514.
- Rowland, T. Unnithan, V.** 2013. Stroke Volume Dynamics During Progressive Exercise in Healthy Adolescents. *Pediatric Exercise Science* 25, 173–185.
- Rowland, TW.** American College of Sports Medicine, North American Society of Pediatric Exercise Medicine (eds). 2017. *Cardiopulmonary Exercise Testing in Children and Adolescents*, Champaign. Human Kinetics
- Shaibi, G. Cruz, M. Ball, G. ym.** 2005. Cardiovascular fitness and the metabolic syndrome in overweight latino youths. *Medicine & Science in Sport Exercise* 37, 922–928.
- Takken, T. Bongers, BC. Van Brussel, M. ym.** 2017. Cardiopulmonary exercise testing in pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society* 14, 123–128
- Tomkinson, GR. Carver, KD. Atkinson, F. ym.** 2017. European normative values for physical fitness in children and adolescents aged 9–17 years: results from 2 779 165 Eurofit performances representing 30 countries. *British Journal of Sports Medicine* (julkaistu verkossa)
- Tomkinson, GR. Léger, LA. Olds, TS. Cazorla, G.** 2003. Secular trends in the performance of children and adolescents (1980-2000): an analysis of 55 studies of the 20m shuttle run test in 11 countries. *Sports Medicine* 33, 285–300.
- Tompuri, T. Lintu, N. Laitinen, T. Lakka, TA.** 2018. Relation of oxygen uptake to work rate in prepubertal healthy children – reference for VO<sub>2/W</sub>-slope and effect on cardiorespiratory fitness assessment. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 38, 645–651.
- Tompuri, T. Lintu, N. Savonen, K. ym.** 2015. Measures of cardiorespiratory fitness in relation to measures of body size and composition among children. *Clinical Physiology and Functional Imaging* 35, 469–477.
- Veijalainen, A. Tompuri, T. Haapala, EA. ym.** 2016. Associations of cardiorespiratory fitness, physical activity, and adiposity with arterial stiffness in children. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 26, 943–950.
- Vierola, A. Suominen, AL. Lindi, V. ym.** 2016. Associations of sedentary behavior, physical activity, cardiorespiratory fitness and body fat content with pain conditions in children: the PANIC study. *Journal of Pain* 17, 845–853.
- Welsman, JR. Armstrong, N. Nevill, AM. ym.** 1996. Scaling peak VO<sub>2</sub> for differences in body size. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28, 259–265.