



Kuva: ANTERO AALTONEN

Voimaharjoittelun sopivuutta esimurrosikäisille on usein epäilty, koska lihaskasvu ennen murrosiän hormonaalisia muutoksia on vähäistä. Voimaharjoittelun on kuitenkin havaittu olevan turvallista sekä tehokasta lihasvoiman, nopeusvoiman, motoristen taitojen sekä aineenvaihdunnan- ja valtimotautien riskitekijöiden parantamiseksi sekä tuki- ja liikuntaelimestön vammojen ehkäisemiseksi.

Fysiologiset vasteet liikuntaan lapsilla ja nuorilla

Lasten ja nuorten vasteet liikuntaan ja liikuntaharjoitteluun ovat osin samankaltaisia kuin aikuisilla. Liikuntaharjoittelun peruseriaatteet kuten ylikuormitus, progressio, spesifisyys ja yksilölliset vasteet sekä liikunta-adaptaatioiden palautuvuus pätevät niin lapsilla, nuorilla kuin aikuisilla. Toisaalta esimerkiksi liikunnan annosvastesuhde maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) kehittämiseksi eroaa jonkin verran aikuisista.

Tämä artikkeli keskittyy erityisesti lasten ja aikuisten välisiin eroihin fysiologisissa vasteissa aerobisen liikunnan ja voimaharjoittelun aikana. Aerobisen liikunnan ja voimaharjoittelun lisäksi on hyvä muistaa, että lapsille tyypillinen liikunta sisältää usein lyhyitä intensiteettitään maksimaalisia pyrähdysjä (Bailey ym. 1995). Maksimaalisten pyrähdysten ja intervalliharjoittelun on havaittu parantavan maksimaalista hapenottokykyä (VO_{2max}) ja valtimoterveyttä lapsilla ja nuorilla. Lisäksi tällainen harjoittelu näyttäisi olevan lapsille ja nuorille hyvin soveltuvaa lasten ja nuorten nopeamman palautumisen vuoksi (Armstrong ja van Mechelen, 2017).

Lasten ja nuorten vasteet akuuttiin aerobiseen liikuntaan

Taulukossa 1 on kuvattu liikuntafysiologian kanalta keskeisimpiä hengitys- ja verenkiertoelimistön eroja lasten ja aikuisten välillä. Samoin kuin aikuisilla, lasten sydämen minuuttitilavuus ja sydämen lyöntitaajuus nousevat lähes lineaarisesti liikunnan kuormittavuuden lisääntyessä aina maksimaaliseen kuormitukseen saakka. Lapsilla myös iskutilavuuden muutokset ovat samankaltaisia kuin aikuisilla. Pystyasennossa tehdyssä liikuntasuorituksessa iskutilavuus nousee intensiteetin noustessa 40–50 prosenttiin VO_{2max} :stä. Kuormittavuuden noustessa korkeammaksi, iskutilavuus ei enää nouse merkittävästi. Joissain tutkimuksissa iskutilavuuden on kuitenkin havaittu kasvavan aina maksimikuormitukseen saakka harjoitteleilla nuorilla. Koska iskutila-

vuus ei muutu merkittävästi makuulla tehdyssä harjoituksessa, pystyasennossa havaittu iskutilavuuden kasvu näyttäisi johtuvan tehostuneesta laskimopaluusta (Rowland&Unnithan, 2013; Rowland, 2005). Lapsilla sydämen vasemman kammion loppudiasistolinen tilavuus pysyy joko samana tai laskee lievästi nousujohteisen aerobisen liikunnan aikana. Samaan aikaan kasvanut vasemman eteisen ja vasemman kammion välinen paine-ero ylläpitää verenvirtausta vasempaan kammioon. Iskutilavuuden kasvuun ja ylläpitoon kuormituksen aikana vaikuttaa pääasiassa sydämen tehokkaampi supistuminen. Myös verenkierron perifeerinen vastus pienenee noin 60%:a liikunnan aikana verrattuna lepotilaan pienten valtimoiden laajenemisen ja kapillaariverkon rekrytoinnin myötä (Rowland, 2008).

Systolinen verenpaine nousee sekä lapsilla että aikuisilla liikunnan aikana. Systolisen verenpaineen nousu lapsilla on huomattavasti pienempää kuin aikuisilla. Esimerkiksi 6–8-vuotiailla lapsilla systolinen verenpaine nousee vain noin 130 mmHg:iin maksimaalisen polkupyöräergometritestin aikana (Lintu et al., 2014). Linnun ym. (2014) tutkimuksessa havaittiin, että kaikilla lapsilla systolinen verenpaine ei nouse kuormituksen lisääntyessä. Yli 20 prosentilla tytöistä ja pojista systolisessa verenpaineessa havaittiin tasaantuminen maksimaalisen kuormituskokeen aikana. Lisäksi jopa kymmenellä prosentilla lapsista systolinen verenpaine laski rasiuskokeen lopussa. Odotetusta poikkeava verenpainevaste ei kuitenkaan heijastanut maksimaaliseen suorituskykyyn eikä aiheuttanut verenkiertoelimistön epänormaalia toiminnasta johtuvia oireita testin aikana. Systolisen verenpaineen tasautuminen ja jopa lasku maksimaa-

lisessä kuormituksessa näyttäisikin olevan osalla terveistä lapsista normaali fysiologinen vaste, joka voi johtua korostuneesta perifeerisen vastuksen pienemisestä.

Samoin kuin aikuisilla, myös lapsilla ventilaatio (VE) kasvaa lineaarisesti yhdessä VO_2 :n kanssa, mutta lasten VE on aikuisia korkeampi annetulla intensiteettitasolla. Anaerobisen energia-aineenvaihdunnan lisääntyessä VE kasvaa nopeammin kuin VO_2 elimistön hiilidioksidipitoisuuden kasvun seurauksena. Tätä epälineaarisen nousun pistettä kutsutaan ventilatoriseksi kynnykseksi (VK), joka vastaa suunnilleen anaerobista/laktaattikynnystä/kaasujenvaihtokynnystä. Esimurrosikäisillä lapsilla VK on keskimäärin 71–75 prosenttia VO_{2max} :stä ja puberteetin päättyessä 45–65 prosenttiin VO_{2max} :stä. Muutos johtuu anaerobisen aineenvaihduntakapasiteetin kehittymisestä puberteetin aikana (Garofano, 2018). Tästä eteenpäin tässä artikkelissa käytetään yksinkertaisuuden vuoksi anaerobista kynnystä. Myös VO_2 -kinetiikka, eli hengitys- ja verenkiertoelimistön kyky sopeutua nopeasti muuttuvaan lihasolujen hapentarpeeseen, on lapsilla nopeampaa kuin aikuisilla erityisesti levosta siirryttäessä raskaaseen liikuntaan. Nopeampi VO_2 -vaste kuormituksen alussa on yhteydessä lihasten korkeanenergiaisten fostaattivarastojen säilymiseen ja vähäisempään uupumiseen (Armstrong ja Barker 2011). Selityksenä lasten nopeammalle VO_2 -vasteelle on pidetty lasten aikuisia parempaa luustolihasen oksidatiivista kapasiteettia, lihakseen korkeampaa verenvirtaus-

ta ja suurempaa valtimo-laskimo happieroa (a-v O_2 diff.) sekä pienempää II-tyyppin lihassolujen aktiivatiota (Armstrong ja Barker, 2009; Armstrong ja van Mechelen, 2017).

Aerobisen liikuntaharjoittelun vaikutukset maksimaaliseen hapenottokykyyn, anaerobiseen kynnykseen VO_2 -kinetiikkaan

Liikuntaharjoittelun on havaittu parantavan VO_{2max} :ia 5–6 prosenttia, mutta yksilöllinen vaihtelu on suurta (-10 – +25 %). Niissä tutkimuksissa, joissa liikuntaharjoittelulla on ollut positiivisia vaikutuksia VO_{2max} :n, parannus on ollut noin 8–10 prosenttia (Baquet, Van Praagh, & Berthoin, 2003). Samoin kuin aikuisilla, tästä vaihtelusta suuri osa selittyy lapsen ja nuoren VO_{2max} :n lähtötasosta. Myös harjoittelun useus, kesto ja intensiteetti sekä sitoutuminen, motivaatio testin aikana ja testiin totuttautuminen vaikuttavat interventioiden aikaansaamiin tuloksiin (Armstrong ja Barker, 2011). Edellämäinittujen muuttujien lisäksi perinnöllinen taipumus vasteisiin on yksi keskeinen liikuntaharjoittelun aikaansaamiin vasteisiin vaikuttava tekijä, mutta lapsilla ja nuorilla tutkimusnäyttö on vielä vähäistä (Armstrong ja van Mechelen, 2017).

Liikuntaharjoitteluinterventiot, joissa on havaittu positiivisia muutoksia VO_{2max} :ssä, ovat sisältäneet yleensä 3–4 viikoltaista 40–60 minuutin mittaista harjoitusta (Armstrong ja Barker, 2011). Liikun-

TAULUKKO 1. Liikuntafysiologian kannalta keskeisimpiä fysiologisia eroja lasten ja aikuisten välillä. Mukailtu lähteestä (Takken, Bongers, Van Brussel, Haapala, & Hulzebos, 2017).

Fysiologinen muuttuja	Ero aikuisten ja lasten välillä
Sydän ja verenkiertoelimistö	
VO_{2max} , L / min ⁻¹	Matalampi
VO_{2max} , mL / kg ⁻¹ / min ⁻¹	Korkeampi
Submaksimaalinen syke, lyöntiä / min	Korkeampi
Maksimisyke, lyöntiä / min	Korkeampi
Iskutilavuus, mL / lyönti	Matalampi
Sydämen minuuttitulavuus suhteessa osuuteen VO_{2max}	Matalampi
Valtimo-laskimo happiero	Korkeampi
Lihaksen verenvirtaus	Korkeampi
Systolinen ja diastolinen verenpaine, mmHg	Matalampi
Sydänlihaksen hapenpuute	Harvinainen
Hengityselimistö	
Kertahengitystilavuus, L	Matalampi
Hengitysfrekvenssi	Korkeampi
Maksimiventilaatio	Matalampi
Ventilaation hyötysuhde, V_E / VO_2	Matalampi
Lihaskudos	
Rasvanhyödyntäminenenergia-aineenvaihdunnassa	Korkeampi
Hiilihydraattienhyödyntäminenenergia-aineenvaihdunnassa	Matalampi
Maksimilaktaattipitoisuuskuormituksessa	Matalampi
Glukolyttinenkapasiteetti	Matalampi
Palautumisenkuormittavastaliikunnasta	Nopeampi

nan intensiteetti on keskeisin liikuntaharjoitteluun VO_{2max} -vasteita määrittävä tekijä. Tavoiteltaessa VO_{2max} :n kehittymistä liikunnan intensiteetin tulisi lapsilla olla korkeampi kuin aikuisilla. Interventiotutkimuksissa joissa on havaittu positiivisia vaikutuksia VO_{2max} :iin, kuormitustaso on vastannut 85–90 prosenttia maksimisykkeestä ja selkeimmät hyödyt on havaittu harjoiteltaessa lähes maksimaalisella intensiteetillä (Armstrong ja Barker, 2011; Baquet ym. 2003). Pääasiallinen mekanismi parantuneen VO_{2max} :n taustalla on kasvanut iskutilavuus ja sitä kautta lisääntynyt sydämen minuuttitulavuus. Lisäksi veritulavuus, parantunut perifeerisen lihaspumpun toiminta sekä tehostunut paikallinen hapenkuljetuksen säätely saattavat osin selittää parantunutta VO_{2max} :ia lapsilla. Tutkimusnäytön perusteella VO_{2max} näyttäisi myös olevan harjoitettava ominaisuus kaikkina ikäkausissa (Armstrong ja Barker, 2011).

Aerobinen liikuntaharjoittelu nostaa absoluuttista anaerobista kynnystä, mutta suhteessa VO_{2max} :iin tulokset anaerobisen kynnyksen muutoksista ovat ristiriitaisia. McManus ym. (2005) havaitsivat erityisesti korkeaintensiivisen intervalliharjoittelun parantavan anaerobista kynnystä. Mekanismi parantuneen anaerobisen kynnyksen taustalla on näyttää olevan vähäisempi laktaatin muodostuminen, joka voi johtua vähäisemmästä glykolyytisestä glykoogeenin käytöstä tai nopeutuneesta VO_2 -kinetiikasta. Myös laktaatin hyödyntäminen muissa kudoksissa voi parantua oksidatiivisten entsyymien toiminnan parantuessa. VO_2 -kinetiikasta interventiotutkimuksia on vähän. Harjoitelleilla lapsilla ja nuorilla VO_2 -vaste rasittavaan liikuntaan on nopeampi kuin harjoitteleemattomilla lapsilla ja nuorilla. Lisäksi liikuntaharjoittelun on havaittu nopeuttavan VO_2 -vastetta ylipainoisilla, mutta ei normaalipainoisilla, 9-vuotiailla lapsilla (McNarry, Lambrick, Westrupp, & Faulkner, 2015). Erot normaalipainoisten ja ylipainoisten lasten välillä voivat johtua normaalipainoisten lasten alun perinkin nopeammasta VO_2 -vasteesta verrattuna ylipainoisiin lapsiin. Mekanismi näiden havaintojen takana on vielä epäselvä, mutta se saattaa liittyä parantuneeseen hapenkuljetukseen ja tehostuneeseen hapen hyödyntämiseen työskentelevissä lihaksissa.

Voimaharjoittelu

Voimaharjoittelun sopivuutta esimurrosikäisille on usein epäilty, koska lihaskasvu ennen murrosiän hormonaalisia muutoksia on vähäistä. Voimaharjoittelun on kuitenkin havaittu olevan turvallista sekä tehokasta lihasvoiman, nopeusvoiman, motoristen taitojen sekä aineenvaihdunnan- ja valtimotautien riskitekijöiden parantamiseksi sekä tuki- ja liikun-

taelimistön vammojen ehkäisemiseksi (Michael Behringer, Heede, Matthews, & Mester, 2011; Faigenbaum, Lloyd, MacDonald, & Myer, 2016; Smith ym., 2014). Lisäksi muun muassa Kansainvälinen olympiakomitea suosittelee voimaharjoittelua nuorille urheilijoille loukkaantumisriskin vähentämiseksi (Bergeron ym. 2015).

Voimaharjoittelun pitkäaikaisvaikutukset lihasvoimaan

Voimaharjoittelu 2–3 kertaa viikossa kuormilla, jotka vastaavat 60–80 prosenttia maksimivoimatasoista (2–3 sarjaa, 8–15 toistoa/sarja), on lisännyt lihasvoimaa lapsilla ja nuorilla riippumatta kypsyystasosta (Behringer, vomHeede, Yue, & Mester, 2010; Faigenbaum, Kramer, & Blimkie, 2009). Harjoittelun vaikutukset lihasvoiman näyttäisivät kuitenkin tehostuvan murrosiässä (Behringer ym., 2010; Faigenbaum, Kramer, & Blimkie, 2009).

Voimaharjoittelua voidaan toteuttaa hyvin erilaisilla tavoilla. Perinteisen voimaharjoittelun lisäksi esimerkiksi kuntopalloharjoittelulla on havaittu myönteisiä vaikutuksia lihasvoimaan 16-vuotiailla nuorilla (Ignjatovic, Markovic, & Radovanovic, 2012). Hermoston mukautuvuus näyttää selittyvän suurimmaksi osaksi lihasvoiman kehittymistä lapsilla ennen murrosikää. Voimaharjoittelu näyttää parantavan motoristen yksiköiden rekrytointia ja erityisesti tyypin II lihassolujen rekrytointia. Myös motoristen yksiköiden käskytyks voi parantua voimaharjoittelun seurauksena. Tämän vuoksi lasten ja nuorten voimaharjoittelun tulisikin ensisijaisesti painottua motoriseen kehittymiseen ja taidon oppimiseen. Myöskään voimaharjoittelun aikaansaaman lihaskasvun vaikutusta voimatasojen nousuun ei voida täysin sulkea pois – on vaikea erotella onko lihaskasvu harjoittelun vai normaalin kasvun seurauksena (Faigenbaum, Kramer, & Blimkie, 2009). Voimaharjoittelun aikaansaamat positiiviset muutokset jänteiden jäykkyydessä voivat myös selittää voiman kehittymistä voimaharjoittelun seurauksena. Murrosiän hormonaalisten muutosten (esimerkiksi testosteronin lisääntyminen murrosiässä erityisesti pojilla) vuoksi voimaharjoittelun vaikutus lihaskasvuun lisääntyy murrosiässä ja sen jälkeen (Faigenbaum, Kramer, & Blimkie, 2009).

Verenkiertoelimistön ja aineenvaihdunnan akuutit vasteet voimaharjoitteluun

Lapsilla ja nuorilla, samoin kuin aikuisilla, isometrisen lihastyö nostaa systolista ja diastolista verenpainetta sekä sykettä mutta muutokset iskutilavuudessa

Liikunnan intensiteetti on keskeisin liikuntaharjoitteluun

VO_{2max} -vasteita määrittävä tekijä.

ovat pieniä (Rowland, 2005). Systolisen verenpaineen on havaittu nousevan myös dynaamisessa voimaharjoittelussa 6–16-vuotiailla lapsilla ja nuorilla. Nau ja työtoverit havaitsivat 35–48 prosentin kasvun systolisessa verenpaineessa, 55–72 prosentin kasvun diastolisessa verenpaineessa ja 65–72 prosentin nousun sykkeessä riippumatta nostetun kuorman määrästä suhteessa maksimikuormaan, kun suoritukset tehtiin uupumukseen saakka (Nau, Katch, Beekman, & Li, 1990).

VO₂ kasvaa voimaharjoittelun (perinteinen, köysiharjoittelu eli rope training) aikana 7–13-vuotiailla tytöillä ja pojilla (Faigenbaum, Kang, Ratamess, Farrell, Golda, ym., 2018; Harris et al., 2017). Faigenbaumin ja työtovereiden tutkimuksessa havaittiin positiivinen annosvaste suhde köysiharjoittelun (ropetraining) sekä kuntopalloharjoittelun aikana sydämen lyöntitaajuudessa ja VO₂:ssä suhteessa aktiiviseen lihasmassaan ja liikelaajuuteen 7–11-vuotiailla lapsilla (Faigenbaum, Kang, Ratamess, Farrell, Ellis, et al., 2018; Faigenbaum, Kang, Ratamess, Farrell, Golda, et al., 2018). Lapsilla laktaatin lisääntyminen verenkierrassa voimaharjoittelun seurauksena on vähäisempään kuin aikuisilla (Rubin et al., 2014). Näiden tulosten perusteella voimaharjoittelun vasteet verenkiertoelimestössä ovat samankaltaisia lapsilla kuin aikuisilla. Lisäksi erilaiset koko kehoa aktivoivat voimaharjoittelun muodot voivat kuormittaa verenkierto- ja hengityselimistöä samalla tavoin kuin kestävyystyypinen liikunta.

Akuutit ja krooniset hormonaaliset vasteet voimaharjoitteluun

Lasten ja nuorten voimaharjoitteluun aikaansaamia hormonaalisia vasteita on tutkittu melko vähän. Tutkimustieto on puutteellista etenkin tytöillä teh-

tyjen tutkimusten osalta (Falk and Eliakim 2014). Akuutit vasteet testosteroni-pitoisuuksissa ovat murrosikäisillä pojilla pienempiä kuin aikuisilla. Lisäksi murrosikäisillä pojilla ei kroonisia muutoksia testosteronipitoisuuksissa ole havaittu, mutta esimurrosikäisillä pojilla on havaittu pieni testosteronipitoisuuksien kasvu. Tutkimusnäyttö adrenaliini ja noradrenaliinivasteiden eroista lasten ja aikuisten välillä on epäyhtenäistä (Falk and Eliakim 2014). Sekä IGF-1 että kasvuhormoni lisääntyvät akuutin voimaharjoituksen jälkeen sekä murrosikäisillä että esimurrosikäisillä pojilla, mutta kroonisia muutoksia IGF-1- ja kasvuhormonitasoissa ei yleensä havaita. Voimaharjoittelun ei ole myöskään havaittu vaikuttavan lasten insuliinipitoisuuteen (Falk and Eliakim 2014). Lopuksi, hormonaaliset vasteet näyttäsivät eroavan jonkin verran tyttöjen ja poikien välillä. Esimerkiksi kortisolipitoisuudet näyttäsivät nousevan enemmän murrosikäisillä pojilla kuin tytöillä.

EERO A. HAAPALA, FT

Tutkijatohtori

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Biolääketieteen yksikkö

Itä-Suomen yliopisto

Sähköposti: eero.a.haapala@jyu.fi

JOHANNA IHALAINEN, LitT

Tutkijatohtori

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Sähköposti: johanna.k.ihalainen@jyu.fi

LÄHTEET

- 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 and elite young athletes. *Medicine and Sport Science*, 56, 59–83.
- Armstrong, N., & van Mechelen, W. (Eds.)**. 2017. *Oxford Textbook of Children's Sport and Exercise Medicine (3rd ed.)*. Oxford: Oxford University Press.
- Bailey, R., Olson, J., Pepper, S., Porszasz, J., Barstow, T., & Cooper, D.** 1995. The level and tempo of children's physical activities: an observational study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(7), 1033–1041.
- Baquet, G., Van Praagh, E., & Berthoin, S.** 2003. Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People. *Sports Medicine*, 33, 1127–1143.
- Behringer, M., Heede, A. Vom, Matthews, M., & Mester, J.** 2011. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23, 186–206.
- Behringer, M., vomHeede, A., Yue, Z., & Mester, J.** 2010. Effects of Resistance Training in Children and Adolescents: A Meta-analysis. *Pediatrics*, 126, e1199–e1210.

- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C. A., ... & Malina, R. M.** 2015. International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med*, 49(13), 843–851
- Faigenbaum, Avery D. Kramer, W. Blimkie, C.** 2009. Youth resistance training: updated position statement paper from the National Strength and Conditioning Association. *J Strength Con Res*, 23, 60–79.
- Faigenbaum, A. D., Kang, J., Ratamess, N., Farrell, A., Ellis, N., Vought, I., & Bush, J.** 2018. Acute Cardiometabolic Responses to Medicine Ball Interval Training in. *International Journal of Exercise Science*, 11, 886–899.
- Faigenbaum, A. D., Kang, J., Ratamess, N., Farrell, A., Golda, S., Stranieri, A., ... Bush, J.** 2018. Acute Cardiometabolic Responses to a Novel Training Rope Protocol in Children. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32, 1197–1206.
- Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J., & Myer, G. D.** 2016. Citius, Altius, Fortius: Beneficial effects of resistance training for young athletes: Narrative review. *British Journal of Sports Medicine*, 50, 3–7.
- Falk, B., & Eliakim, A.** 2014. Endocrine response to resistance training in children. *Pediatric Exercise Science*, 26, 404–422.

- Garofano, R.** 2018. Other measures of aerobic fitness. Teoksessa: T. W. Rowland, American College of Sports Medicine, & North American Society for Pediatric Exercise Medicine (Eds.), *Cardiopulmonary exercise testing in children and adolescents* (pp. 199–223). Champaign: Human Kinetics.
- Harris, N. K., Dulson, D. K., Logan, G. R. M., Warbrick, I. B., Merien, F. L. R., & Lubans, D. R.** 2017. Acute responses to resistance and high-intensity interval training in early adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1177–1186.
- Ignjatovic, A. M., Markovic, Z. M., & Radovanovic, D. S.** 2012. Effects of 12-week medicine ball training on muscle strength and power in young female handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26, 2166–2173.
- Lintu, N., Tompuri, T., Viitasalo, A., Soininen, S., Savonen, K., Lindi, V., & Lakka, T. A.** 2014. Cardiovascular fitness and haemodynamic responses to maximal cycle ergometer exercise test in children 6–8 years of age. *Journal of Sports Sciences*, 32, 652–659.
- McManus, A. M., Cheng, C. H., Leung, M. P., Yung, T. C., & Macfarlane, D. J.** 2005. Improving aerobic power in primary school boys: A comparison of continuous and interval training. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 781–786.
- McNarry, M. A., Lambrick, D., Westrupp, N., & Faulkner, J.** 2015. The influence of a six-week, high-intensity games intervention on the pulmonary oxygen uptake kinetics in prepubertal obese and normal-weight children. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40, 1012–1018.
- Nau, K. L., Katch, V. L., Beekman, R. H., & Li, M. D.** 1990. Acute Intraarterial Blood Pressure Response to Bench Press Weight Lifting in Children. *PediatrExercSci*, 2(1), 37–45.
- Rowland, T.** 2008. Echocardiography and circulatory response to progressive endurance exercise. *Sports Medicine*, 38(7), 541–551.
- Rowland, T., & Unnithan, V.** 2013. Stroke Volume Dynamics During Progressive Exercise in Healthy Adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 25, 173–185.
- Rowland, T. W.** 2005. *Children's exercise physiology* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Rubin, D. A., Castner, D. M., Pham, H., Ng, J., Adams, E., & Judelson, D. A.** 2014. Hormonal and Metabolic Responses to a Resistance Exercise Protocol in Lean Children, Obese Children, and Lean Adults. *Pediatric Exercise Science*, 26(4), 444–454.
- Smith, J. J., Eather, N., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Faigenbaum, A. D., & Lubans, D. R.** 2014. The Health Benefits of Muscular Fitness for Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine* 44(9):1209–1223
- Takken, T., Bongers, B. C., Van Brussel, M., Haapala, E. A., & Hulzebos, E. H. J.** 2017. Cardiopulmonary exercise testing in pediatrics. *Annals of the American Thoracic Society* 14, 123–128.