

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

Author(s): Savinainen, Saija; Lakka, Timo A.; Vlachopoulos, Dimitris; Sääkslahti, Arja; Helajärvi, Harri; Ihalainen, Johanna; Finni Juutinen, Taija; Haapala, Eero

Title: Kasvu, sukupuolinen kypsyminen ja kehitys sekä niiden merkitys liikuntatieteissä

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:

Savinainen, S., Lakka, T. A., Vlachopoulos, D., Sääkslahti, A., Helajärvi, H., Ihalainen, J., Finni Juutinen, T., & Haapala, E. (2018). Kasvu, sukupuolinen kypsyminen ja kehitys sekä niiden merkitys liikuntatieteissä. *Liikunta ja tiede*, 55(4), 22-29. https://www.lts.fi/media/liikuntatiede-lehden-artikkelit/4_2018/lt_4-18_22-29_lowres.pdf



**Tutkijoiden tulee
tunnistaa lasten
kasvun ja
kehityksen tuomat
haasteet
tutkimuksen
luotettavuudelle.**

Kuva: GORILLA/MASKOT

Kasvu, sukupuolinen kypsyminen ja kehitys sekä niiden merkitys liikuntatieteissä

Kasvu sekä sukupuolinen kypsyminen ja kehitys ovat keskeisiä käsitteitä kaikissa lapsia ja nuoria käsittelevissä tutkimuksissa sekä lasten ja nuorten fyysisen aktiivisuuden seurannassa ja urheiluvalmennuksessa.

Kasvun sekä sukupuolisen kypsymisen ja kehityksen seurauksena eri elinjärjestelmissä tapahtuu muutoksia, jotka vaikuttavat fyysisiin ominaisuuksiin ja niiden kehittymiseen fyysisen aktiivisuuden seurauksena (Armstrong ja van Mechelen 2017). Fyysinen aktiivisuus voi vaikuttaa myös kasvuun sekä sukupuoliseen kypsymiseen ja kehitykseen – joko negatiivisesti tai positiivisesti.

Ihmisen kasvu on hallitseva biologinen prosessi, joka alkaa hedelmöityksestä ja jatkuu aina kolmannelle vuosikymmenelle saakka. Lapsen kasvaessa hänen pituutensa, painonsa, lihas-, rasva- ja luumassansa sekä elintensä ja elinjärjestelmiensä koko kasvavat. Ihmisen kasvua säätelevät 1) solujen määrän lisääntyminen eli hyperplasia, 2) solujen koon kasvu eli hypertrofia ja 3) solun ulkopuolisen aineen lisääntyminen. Näiden prosessien merkitys ja vallitsevuus ihmisen kasvussa ovat riippuvaisia iästä ja kohdekudoksesta.

Ihmisen kasvua säätelevät muun muassa perimä, ravitsemustila, psykososiaalinen kasvuympäristö ja monet krooniset sairaudet. Hormonaalisia kasvua

sääteleviä tekijöitä ovat esimerkiksi kasvuhormoni, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1 (IGF 1), sukupuolihormonit ja kilpirauhashormoni (Dunkel 2009).

Lapsen kasvu

Lapsen syntymän jälkeinen kasvu jaetaan imeväisiän kasvuun, tämän jälkeisen lapsuuden kasvuun ja murrosiän kasvupyrähdykseen (ns. Infancy, Childhood, Puberty – eli ICP-kasvumalli). Nämä kasvun vaiheet limittyvät osittain, ja niiden säätely eroaa toisistaan. Imeväisiän kasvu jatkuu 2–3 vuoden ikään asti, on alkuun hyvin nopeaa ja hidastuu loppua

Varsinkin pitkittäistutkimuksissa sukupuolia – tai eri tutkimusten tuloksia – toisiinsa verrattaessa on hyvä tuntee lapsen kasvaessa ja kehittyessä tuloksiin vaikuttavat tekijät.

kohti. Jos lapsen syntymäpituus poikkeaa selkeästi perimän mukaisesta odotuspituudesta, pituuskasvu hakeutuu omalle kasvutasolle usein jo ensimmäisen tai toisen elinvuoden aikana. Imeväisiän kasvun säätelyä ei vielä täysin tunneta, mutta ravinnon määrän ja ravinnon imeytymisen häiriöiden tiedetään olevan tärkeitä sen säätelyssä (Dunkel 2009). Lisäksi kilpirauhashormoni ja jossain määrin myös kasvuhormoni säätelävät imeväisiän kasvua

Imeväisiän jälkeinen lapsuuden kasvu alkaa 2–3 ikävuoden kohdalla ja hidastuu tasaisesti iän lisääntyessä lukuun ottamatta pientä androgeenien lisääntyvästä erityksestä aiheutuvaa pituuskasvun hetkellistä kiihtymistä 6–8-vuoden iässä. Lapsuuden suhteellinen pituus vastaa yleensä pituuskasvun päättyessä saavutettua suhteellista pituutta. Kasvuhormoni on keskeinen lapsuusajan kasvun säätelijä, mutta myös kilpirauhashormoni, ravitsemukselliset tekijät, terveydentila ja kasvuolosuhteet vaikuttavat siihen (Dunkel 2009).

Kuvassa 1 on kuvattu 9–11-vuotiaiden tyttöjen ja poikien iän ero murrosiän kasvupyrähdysen alkamiseen. Murrosiän kasvupyrähdys alkaa tytöillä useimmiten 11–13-vuotiaana vaihdellen yleensä 8,5 ja 14 vuoden välillä. Se alkaa pojilla pari vuotta myöhemmin vaihdellen yleensä 10,5 ja 16 vuoden välillä (Malina ym. 2004; Dunkel 2009). Yksilöllinen vaihtelu on kuitenkin suurta jopa hyvin kapeassa ikäryhmässä. Murrosiän kasvupyrähdys alkaa tytöillä usein heti murrosiän ulkoisten merkkien ilmaantumista ja pojilla hieman murrosiän käynnistymisen jälkeen. Murrosiän kasvupyrähdysen aikana tytöt kasvavat pituutta keskimäärin 20–25 senttimetriä ja pojat 25–30 senttimetriä. Murrosiän kasvupyrähdysen alussa pituuskasvu tapahtuu etenkin raajoissa, mutta sen jälkeen pituuskasvu tapahtuu enemmän

myös selkärangassa. Murrosiän loppuun mennessä nuori on saavuttanut aikuisiän pituutensa, ja pituuskasvu päättyy luiden kasvulevyjen sulkeuduttua (Dunkel 2009). Paitsi luustossa, kasvupyrähdys tapahtuu murrosiässä myös lihaksistossa.

Sukupuolinen kypsyminen

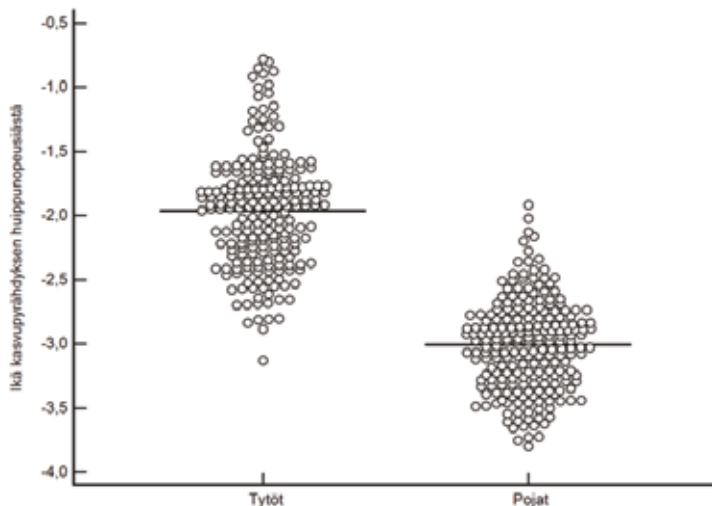
Sukupuolisella kypsymisellä tarkoitetaan elinten ja elinjärjestelmien koon tai toiminnan muutoksia, jotka johtavat sukukypsytyteen ja aikuismaisiin piirteisiin. Vaikka kaikki saavuttavat täyden sukupuolisen kypsyyden, erot kehon koossa ja mittasuhteissa voivat olla huomattavia. Sukupuolinen kypsyminen ei etene kaikilla lapsilla ja nuorilla samalla tavalla, vaan samanikäisten ja samankokoisten lasten kypsyystaso ja kypsymisnopeus voivat erota huomattavasti (Armstrong ja van Mechelen 2017).

Sukupuolinen kypsyminen alkaa jo kohdussa ja jatkuu murrosiän yli. Sukupuoli-identiteetti alkaa muodostua varhaislapsuudessa ja kehittyy läpi lapsuuden aina aikuisuuteen asti. Hypotalamus-aivolisäke-järjestelmä säätlee sukupuolirauhasten toimintaa. Se aktivoituu hetkeksi syntymän jälkeen sammuakseen aina murrosiän alkuun asti. Murrosikä alkaa, kun hypotalamus-aivolisäke-järjestelmä aktivoituu ja saa aikaan sukupuolirauhasten hormonituotannon käynnistymisen. Pojilla ensimmäinen merkki murrosikäisen käynnistymisestä on kivesten ja kivespussin suureneminen yleensä 9,5–13,5-vuotiaana. Peniksen kasvu käynnistyy noin vuosi murrosikäisen käynnistymisestä. Häpykarvoituksen ilmaantumisen ajankohta vaihtelee. Pojilla murrosikäisen kehitykseen kuuluu myös äänenmurros noin 14-vuotiaana. Äänenmurros johtuu kurkunpään, kurkunpään lihasten ja kilpiruuston kasvusta. Tyttöjen murrosikä alkaa yleensä 8–13-vuoden iässä useimmiten rintarauhasen kasvulla, mutta joillain tytöillä häpykarvoituksen ilmaantuminen on murrosikäisen käynnistymisen ensimmäinen merkki. Kuukautiset alkavat keskimäärin 2,2 vuotta murrosikäisen alun jälkeen, milloin kasvunopeus on jo hiipumassa (Dunkel 2009).

Lapsen kehitys

Lapsen ja nuoren kasvun ja sukupuolisen kypsymisen yhteydessä käytetään usein myös termiä kehitys (engl. development). Heidän kehityksensä voi olla sekä biologista että käyttäytymiseen liittyvää. Elinympäristössä selviytymisessä voidaan tarkastella sosiaalista, psykologista ja kognitiivista kehitystä. Myös liikuntataitojen ja liikunnallisten ominaisuuksien kehitys, jotka mahdollistavat osallistumisen moniin harrastus- ja vapaa-ajan aktiviteetteihin, voidaan nähdä osana kokonaisvaltaisempaa kehityksellistä kaarta.

Lapsen neurologinen kehitys suhteutetaan hänen ikäänsä. Hyvin ennenaikaisina syntyneille lapsille lasketaan korjattu ikä raskauden ottaen huomioon laskettu aika. Tätä korjattua ikää käytetään kehityksen arvioinnissa viiden vuoden ikään asti. Lapsen kehityksen etenemiselle olennaisimpia tekijöitä



KUVA 1. Iän ero murrosiän kasvupyrähdysen alkamiseen 9–11-vuotiaalla suomalaisilla tytöillä (N=214) ja pojilla (N=223). Iän eri kasvupyrähdysen alkamiseen on arvioitu kajoamattomasti Mooren ym. (2015) esittämällä kaavalla. Perustuu Lasten liikunta ja ravitsemus -tutkimuksen aineistoon.

ovat kyky, halu ja mahdollisuus uuden oppimiseen. Halu oppia uutta on puolestaan lapsella synnynnäinen ominaisuus. Ympäristö tarjoaa mahdollisuuden oppimiseen ja kehittymiseen. Sopivasti erilaisia virikkeitä tarjoava, lapsen kehitystä tukeva sekä lasta kannustava ympäristö tukevat lapsen kehityksen etenemistä. Lapselle ominaista kehitysaikataulua ei pystytä juurikaan nopeuttamaan, mutta puutteelliset, kehitystä tukemattomat tekijät voivat hidastaa sitä. Vaihtelu kehitysnopeudessa eri lasten ja sukupuolten välillä on hyvin laaja, ja tämä luo haasteensa lapsen kehityksen arviointiin.

Lapsen neuromuskulaarinen toiminta alkaa jo varhaisessa alkuraskaudessa. Sikiöllä ja vastasyntyneellä lapsella nähdään kävelyä muistuttavia polkemisliikkeitä eli askelheijaste, mikä häviää parin kuukauden ikään mennessä. Tahdonalaisen kävelyn opettamisen vaihe alkaa yleensä kahdeksan kuukauden iän jälkeen ja kävelemään ilman tukea opitaan 7–17 kuukauden iässä (Dunkel 2009). Motoristen taitojen kehitystä on kuvattu tarkemmin tämän lehden artikkelissa Laukkanen ym. (2018).

Kasvun, sukupuolisen kypsymisen ja kehityksen arviointi ja seuranta

Kasvua seurataan suhteuttamalla lapsen pituus ja paino oman sukupuolen mukaiselle kasvukäyrästölle sekä tarkastelemalla pituuden ja painon muutoksia lyhyemmällä ja pidemmällä aikavälillä. Suomalaisille lapsille on olemassa omat vuosina 2010–2011 uudistetut kansalliset kasvukäyrät (Saari ym. 2011), www.kasvukayrat.fi. Pituudelle, painolle, painoindeksille, päänympärykselle sekä pituuskohtaiselle painolle on olemassa omat ikäkohtaiset kasvukäyränsä. Lapsen terve kasvu näkyy käyrästöllä siten, että mitattavat muuttujat kulkevat useimmiten johdonmukaisesti vertailukäyrien suuntaisesti. Pituuskasvua voidaan arvioida vertaamalla suhteellista pituutta väestön keskiarvoon tai vanhempien pituuksien perusteella laskettuun odotuspituuteen tai arvioimalla suhteellisessa pituudessa tapahtunutta muutosta pidemmällä aikavälillä. Alle 2-vuotiaan painon seurannassa käytetään Suomessa pituuteen suhteutettua painoa (%). Yli 2-vuotiailla käytetään iänmukaista painoindeksiä. Lapsen painon arvioinnin haasteena ovat varhaislapsuuden painoindeksivaihtelut, minkä takia lapsille on luotu aikuisen painoindeksiä vastaavat ISO-painoindeksit (Dunkel 2009; Saari ym. 2011).

Kasvuun liittyviä vaiheita voidaan käyttää arvioimaan lasten ja nuorten välisiä eroja kypsymisessä. Kasvua voidaan tarkastella kasvun ajoituksena suhteessa kalenteri-ikään. Yksi käytetyimmistä menetelmistä on ikä suhteessa murrosiän kasvupyrähdykseen (engl. age from peak height velocity). Perinteisesti murrosiän kasvupyrähdysten ajoittumista on mitattu toistamalla seisomapituuden mittauksia lapsuudesta läpi murrosiän, mutta murrosiän kasvupyrähdysten ajoitusta voidaan arvioida myös ikää, painoa, pituutta ja istumapituutta hyödyntävillä kaavoilla (Taulukko 1). Alunperin Mirwald ym. esittelivät (Mirwald ym. 2002) kaavan murrosiän kasvupyrähdysten ajoittumisen laskemiseen tytöillä ja

pojilla ja josta Moore ym. (2015) raportoivat yksinkertaistetun laskukaavan. Molemmista kaavoissa kasvu kuvataan lineaarisena ja arvioidun ja mitatun murrosiän kasvupyrähdysten ajoittumisen ero näyttäisi kasvavan sitä suuremmaksi mitä kauemmaksi murrosiän kasvupyrähdyksestä mennään. Fransen ym. (2017) kehittivät kasvua kuvaavan maturiteettisuhteen, joka saattaa ottaa huomioon paremmin kasvun epälineaarisuuden ja siten soveltua paremmin suhteellisen murrosiän kasvupyrähdysten ajoittumisen arvioimiseen. Tällä hetkellä ryhmä on kuitenkin validoinut kaavan vain pojilla (Fransen ym. 2017). Edellä esitetyt kaavat selittävät noin 90 prosenttia mitatun murrosiän kasvupyrähdysten vaihtelusta, ja niitä voidaan käyttää antamaan suuntaviivoja lapsen ja nuoren kypsyystasosta tutkimuksessa ja urheiluvuorokauden suunnittelussa. Vaikka näiden kaavojen vahvuutena on niiden kajoamattomuus, kyky arvioida kypsyyttä yhdessä aikapisteessä ja melko hyvä tarkkuus, arvion virheen suuruus kasvaa mitä kauemmas murrosiän kasvupyrähdyksestä mennään.

Saavutettua osuutta aikuispituudesta on myös käytetty kasvuun liittyvän kypsyystason arvioinnissa. Menetelmässä tarvitaan useita toistuvia mittauksia lapsuusaikana sekä aikuisena mitattu pituus. Toisena vaihtoehtona on arvioida aikuispituus esimerkiksi Khamis-Roche-menetelmän avulla tai käyttää Tannerin esittelemää vanhempien keskipituusmenetelmää (Khamis ja Roche 1994; Malina ym. 2004) (Taulukko 1). Osuutta odotepituudesta voidaan mahdollisesti käyttää vertailtaessa kypsyyttä lasten välillä. Kypsyiden arviointi osuus-aikuispituudesta voi olla sopiva menetelmä erityisesti nuoremmilla lapsilla. Eri menetelmiä käytettäessä pitää kuitenkin muistaa, että tuloksia tulee tulkita harkiten eivätkä tulokset ole vertailukelpoisia muiden menetelmien kanssa.

Biologinen ja sukupuolinen kypsyminen

Biologisen kypsymisen arvioimisen referenssimenetelmänä pidetään luustoikää, joka saadaan arvioimalla kämmenen ja ranteen luuston luutumisen astetta, luiden muodon kehitystä ja luun kasvulevyn luutumista. Varsinainen luustoikä saadaan vertaamalla mitattuja tuloksia vertailuarvoihin joko manuaalisesti tai tietokoneohjelman avulla ja tarkastelemalla minkä ikäisen vertailuaineistossa olevan lapsen kanssa tulokset ovat yhteneväisiä. Luustoikä voidaan ilmaista suhteessa kalenteri-ikään joko vähentämällä luustoikä kalenteri-ikästä tai jakamalla luustoikä kalenteri-ikäällä. Molemmista tapauksissa saadaan tieto siitä, onko luustoikä jäljessä, ajallaan vai edellä suhteessa kalenteri-ikään. Luustoiän vahvuutena pidetään sen käyttökelpoisuutta arvioida kypsyyttä syntymästä alkaen sekä sen toistettavuutta ja tarkkuutta kypsyiden arvioimisessa. Luustoiän arvioiminen ei kuitenkaan ole aina tarkoituksenmukaista. Luustoiän arvioiminen altistaa lapset pienelle määrälle ionisoivaa säteilyä ja kuvantaminen vaatii resursseja. Lisäksi kuvantamistulosten tulkintaan tarvitaan erikoisosaamista, joka rajoittaa luustoiän käyttämistä liikuntatieteellisessä tutkimuksessa tai käytännön työssä.

TAULUKKO 1. Murrosiän kasvupyrähdyn ajoittumien arvioimiseen käytettyjä laskukaavoja.

Viite	Menetelmä	Tytöt	Pojat
Mirwald ym.	län ero murrosiän kasvupyrähdykseen	$-16,364 + 0,0002309 \cdot (\text{jalkojen pituus} \times \text{istumapituus tulotermin}) + 0,006277 \cdot (\text{ikä} \times \text{istumapituus tulotermin}) + 0,179 \cdot \text{jalkojen pituus/pituus -suhde} + 0,0009428 \cdot (\text{ikä} \times \text{paino tulotermin})$	$-29,769 + 0,0003007 \cdot (\text{jalkojen pituus} \times \text{istumapituus tulotermin}) - 0,01177 \cdot (\text{ikä} \times \text{jalkojen pituus tulotermin}) + 0,01639 \cdot (\text{ikä} \times \text{istumapituus tulotermin}) + 0,445 \cdot (\text{jalkojen pituus/pituus -suhde})$
Moore ym.	län ero murrosiän kasvupyrähdykseen	$-7,709133 + (0,0042232 \times (\text{ikä} \times \text{pituus (cm)}))$	$-8,128741 + (0,0070346 \times (\text{ikä} \times \text{istumapituus (cm)}))$ TAI $-7,999994 + (0,0036124 \times (\text{ikä} \times \text{pituus (cm)}))$
Fransen ym.	Maturiteettisuhde	–	$6,986547255416$ $+ (0,115802846632 \times \text{kalenteri-ikä})$ $+ (0,001450825199 \times \text{kalenteri-ikä})$ $+ (0,004518400406 \times \text{kehon paino})$ $- (0,000034086447 \times \text{kehon paino})^2$ $- (0,151951447289 \times \text{seisomapituus})$ $+ (0,000932836659 \times \text{seisomapituus})^2$ $- (0,000001656585 \times \text{seisomapituus})^3$ $+ (0,032198263733 \times \text{jalkojen pituus})$ $- (0,000269025264 \times \text{jalkojen pituus})^2$ $- (0,000760897942 \times ((\text{seisomapituus} \times \text{kalenteri-ikä})))$
Tanner ym.	Osuus odotepituudesta	$\text{lapsen pituus (cm)} / (\text{isän pituus (cm)} + \text{äidin pituus (cm)} - 13) / 2.$	$\text{lapsen pituus (cm)} / (\text{isän pituus (cm)} + \text{äidin pituus (cm)} + 13) / 2$

Tannerin kuvaaman viisiluokkaista häpykarvoituksen, sukupuolielinten ja rintojen kehittyneisyyden tasoja arvioiva menetelmä on usein käytetty tapa murrosiän vaiheiden arvioimiseen. Tasot nimetään PH1–PH5 (pubichair, häpykarvoitus), B1–B5 (breast, rinnat) ja G1–G5 (genitalia, sukupuolielimet). Jokaisella tasolla taso 1 kuvaa esimurrosikää, jolloin näkyviä muutoksia ei ole vielä havaittavissa. Taso 2 kuvaa selkeää muutosta kussakin indikaattorissa ja taso 5 täyttä sukupuolista kypsyyttä. Tannerin kuvaamien tasojen käytössä huomioitavaa on, että eri indikaattorit kuvaavat osin eri prosesseja ja siten esimerkiksi B3 ei ole yhtäsuuri kuin PH3. Lisäksi eri indikaattoreita tulisi käyttää itsenäisinä kuvaajina, eikä muodostaa keskimääräistä kypsyytastoa. Näiden tasojen heikkoutena on, ettei niissä ole keskitasoja, vaan lapsi ja nuori joko on tai ei ole tietyllä tasolla. Näin voi muodostua suuriakin eroja esimerkiksi juuri B2 tasolle siirtyneen ja B2-tason loppupäässä olevan tyttöjen välillä. Lisäksi kronologinen ikä tulisi huomioida, sillä yhdessä PH luokassa alkutaipaleella olevat ovat yleensä lyhyempiä, kevyempiä ja nuorempia kuin tasolla pidemmällä olevat. Murrosiän vaiheiden arvioimiseen Tannerin kriteereillä tarvitaan lääkärin tarkastus, joka vähentää sen käytettävyyttä arjessa ja liikuntatieteellisessä tutkimuksessa. Murrosiän vaiheiden arvioimiseen on kehitetty myös karkeitä itsearviointimenetelmiä (Taylor ym. 2001), mutta ne eivät korvaa lääkärin tarkastukseen perusteella arvioitua sukupuolista kypsyyttä (Armstrong ja van Mechelen 2017).

Pojilla kivesten koko on suurempi ja tarkempi sukupuolielinten kypsyyden mittari kuin Tannerin esittämät tasot, mutta se vaatii kivesten palpaatiota ja tilavuuden arviointia Praderin orkidometrillä.

Tytöillä sukupuolista kypsymistä voidaan arvioida myös kuukautisten alkamisen ajankohtana.

Kehitys

Lapsen kehitystä arvioidaan Suomessa terveydenhuollossa lastenneuvoloissa ja kouluterveydenhuollossa. Kehitysseurannassa seurataan taitojen karttumista, kiinnitetään huomiota lapsen lihasjänteeseen, vuorovaikutustaitoihin ja kielellisiin taitoihin sekä tarkastetaan näkö- ja kuuloaistin toimintaa. Alle 2-vuotiaiden neurologista kehitystä voidaan arvioida Vauvan neurologisen ja psyykkisen kehityksen arviointimenetelmällä (Vane-psy). Vane-psy on strukturoitu menetelmä 1,5, 4, 8 ja 18 kuukauden ikäisille lapsille. Leikki-ikäisille lapsille on olemassa Leikki-ikäisen lapsen neurologisen kehityksen arviointimenetelmä (Lene), josta on oma sovellus 2,5–3-, 4-, 5- ja 6-vuotiaille lapsille. Lene arvioinnin tavoitteena on löytää mahdollisimman varhain oppimisvaikeuksia ennakoivat kehitykselliset ongelmat, jotka liittyvät kielenkehitykseen, motoriikkaan, hahmotukseen ja tarkkaavaisuuteen, ja jotka etenevät helposti ilman puuttumista käyttäytymisen ja tunne-elämän alueille.

Kasvun ja kypsymisen vaikutus eli elinjärjestelmiin

Verenkierto- ja hengityselimistö

Sikiöaikana sydämen oikea ja vasen puoli ovat yhtä suuria, mutta syntymän jälkeen erityisesti sydämen vasen kammio kasvaa fysiologisista syistä oikeata

puolta enemmän. Sydämen koko ja tilavuus kasvavat varhaisaikuisuuteen saakka, mutta sydämen paino suhteessa kehon painoon on käänteisesti yhteydessä ikään. Sydämen vasemman kammion kerrallaan pumpaama verimäärä eli iskutilavuus levossa kasvaa vastasyntyneen 3–4 millilitrasta esimurrosikäisen 40 millilitraan. Murrosiän kasvupyrähdyksen aikana iskutilavuus kasvaa nopeasti ja nuorilla miehillä keskimääräinen lepoarvo on 60 millilitraa minuutissa (Malina ym. 2004). Vastasyntyneellä sydämen lyöntitaajuus eli syke on noin 140 lyöntiä minuutissa, ja se laskee keskimäärin 70 lyöntiin minuutissa 10-vuotiaalla lapsella. Lapsuudessa sykkeessä ei havaita merkittäviä eroja tyttöjen ja poikien välillä, mutta yli kymmenen vuoden iässä pojilla on noin 3–5 lyöntiä matalampi syke kuin tytöillä (Malina ym. 2004). Maksimisykkeessä ei havaita merkittäviä muutoksia ennen murrosikää, vaan se pysyy 185–205 lyönnissä minuutissa riippuen liikunnan muodosta. Maksimisykkeeseen vaihteluväli lapsilla on kuitenkin suuri, 170–225 lyöntiä minuutissa. Maksimisykkeeseen pysyminen melko vakaana lapsuudessa johtaa siihen, että maksimisykkeeseen ennustamisessa käytetyt kaavat (220-ikä tai 208-(0,7 x ikä) eivät ole suositeltavia ennen murrosiän loppua (Armstrong ja van Mechelen 2017).

Vastasyntyneen lapsen systolinen verenpaine on keskimäärin 40–75 mmHg ja nousee samalla tavalla tytöillä ja pojilla aina kymmenen vuoden ikään saakka (Malina ym. 2004). Tämän jälkeen poikien systolinen verenpaine nousee enemmän kuin tyttöjen, ja 17 vuoden ikään mennessä pojilla on 5–10 mmHg korkeampi systolinen verenpaine kuin tytöillä (Malina ym. 2004). Systolinen verenpaine nousee pituuden kasvaessa lapsuudessa ja nuoruudessa. Diastolinen verenpaine ei nouse yhtä merkittävästi lapsuuden ja nuoruuden aikana kuin systolinen verenpaine, eikä sukupuolieroja juurikaan havaita (Malina ym. 2004). Valtimoiden seinämän jäykkyyden kuvaajana käytetty aortan pulssiaallon nopeus lisääntyy lapsuudesta teini-ikään ja varhaisaikuisuuteen (Reusz ym. 2010; Hidvégi ym. 2012). Myös veren punasolumäärä, punasoluosuus eli hematokriitti ja hemoglobiinipitoisuus kasvavat iän karttuessa. Ne kasvavat yhtä paljon tytöillä ja pojilla ennen murrosikää, mutta 10–12 vuoden iästä eteenpäin pojilla on suurempi veren punasolumassa ja hemoglobiinipitoisuus kuin tytöillä (Malina ym. 2004).

Keuhkojen koko ja paino kasvavat lähes suorassa suhteessa seisomapituuteen, ja keuhkojen paino 20-kertaistuu 60–70 grammasta 1 200–1 400 grammaan syntymästä aikuisuuteen (Malina ym. 2004). Myös keuhkorakkuloiden eli alveolien määrä lisääntyy huomattavasti syntymästä lapsuuteen. Vastasyntyneellä lapsella on noin 20 miljoonaa keuhkorakkulaa, kun taas 8-vuotiaalla lapsella niitä on noin 300 miljoonaa eli yhtä paljon kuin aikuisilla (Malina ym. 2004). Hengityksen säätelyyn osallistuvien aivo keskusten toiminnallisesta kehittymisestä tiedetään vähän, mutta hengityksen säätelyyn osallistuvat kemoreseptorit ovat toiminnallisia jo vastasyntyneellä. Vastasyntyneen lapsen hengitystiheys on noin 40, ja se laskee noin 22:een 5–6 vuoden ikään mennessä. Myös keuhkojen tilavuus kasvaa iän karttuessa lähes

suorassa suhteessa pituuskasvun kanssa, mutta murrosiän kasvupyrähdyksen aikana keuhkojen kehitys jää jälkeen pituuskasvun kehityksestä (Malina ym. 2004).

Tuki- ja liikuntaelimestö

Lihaskudoksen määrä lisääntyy huomattavasti kasvun ja kypsymisen myötä tytöillä ja pojilla, mutta erityisesti murrosiän kasvupyrähdyksen aikana poikien lihassmassan kasvu on suurempaa kuin tytöillä (Armstrong ja van Mechelen 2017). Lihassolujen määrä kasvaa sikiövaiheessa sekä mahdollisesti myös vähän syntymän jälkeen. Lihaskudoksen määrän lisääntyminen syntymän jälkeen johtuu pääasiassa olemassa olevien lihassolujen kasvusta, joka jatkuu lineaarisena murrosikään sekä pojilla että tytöillä, mutta pojilla kasvu jatkuu jopa varhaisaikuisuuteen (Malina ym. 2004). Lihassolut ovat murrosiässä suurempia pojilla kuin tytöillä. Myös lihassolutyypin suhteellinen osuus lihaksessa näyttäisi muuttuvan kasvun ja kypsymisen aikana, joskin tämä voi olla lihaskohtaista. Pojilla tyyppin I lihassolujen suhteellinen osuus vastus lateralis-lihaksessa näyttäisi vähenevän noin 65 prosentista 50 prosenttiin viiden ja 20 ikävuoden välillä. Pojilla tyyppin I lihassolujen suhteellinen osuus vähenee myös 17 ja 27 ikävuoden välillä, mutta tytöillä ei vastaavaa muutosta ole havaittu (Malina ym. 2004; Armstrong ja van Mechelen 2017). Nämä sukupuolierot voivat johtua joko todellisista fysiologisista eroista, mutta on myös mahdollista, että tämä johtopäätös on virheellinen, koska tytöillä tehtyjä tutkimuksia on vähän. Lihaksen adenosiinifosfaatti-varastoissa ei kasvun aikana tapahdu suuria muutoksia, mutta kreatiinifosfaattivarastojen muuttumisen osalta tutkimusnäyttö on ristiriitaista. Lihaksen glykogeenivarastojen on raportoitu olevan pienemmät lapsilla kuin murrosikäisillä ja aikuisilla. Lapsilla on lisäksi korkeampi aerobisten entsyymien ja matalampi anaerobisten entsyymien aktiivisuus kuin murrosikäisillä ja aikuisilla. Lisäksi murrosikäisillä on korkeampi aerobisten entsyymien aktiivisuus kuin aikuisilla, mutta näyttö anaerobisten entsyymien aktiivisuudesta on ristiriitaista. Vaikka hermolihasjärjestelmän kypsyminen tunnetaan vielä heikosti, hermosolujen johtumisnopeus ja kyky aktivoita motorisia yksiköitä näyttäisivät olevan lapsilla jonkin verran heikompi kuin aikuisilla (Rowland 2005; Armstrong ja van Mechelen 2017).

Jänteillä on tärkeä rooli liikkumisen taloudellisuudessa ja voimantuotossa. Jänteen jäykkyyden lisääntyessä liikkumisen taloudellisuus ja voimantuotonopeus kasvavat (Armstrong ja van Mechelen 2017). Yhdeksänvuotiailla pojilla ja tytöillä jänteen jäykkyyden on havaittu olevan pienempi kuin aikuisilla (O'Brien ym. 2010). mutta erot aikuisten ja lasten välillä näyttäisivät pienenevän 15 vuoden ikään mennessä (Armstrong ja van Mechelen 2017). Koska lapsilla jännettä venyttävät voimat ovat pienempiä jänteet venyvät enemmän kuin aikuisilla, lasten jänteet eivät varastoi yhtä paljon elastista energiaa kuin aikuisten jänteet.

Luun mineraalipitoisuus ja mineraalitiheys lisääntyvät iän myötä, mutta luumassa lisääntyminen vaihtelee tyttöjen ja poikien välillä. Varhaislapsuudesta

murrosiän loppuun, luumassa lisääntyy 70–95 grammaa nuorten naisten 2 400 grammaan ja nuorten miesten 3 300 grammaan (Stagi ym. 2013). Huippuluumassasta 80–90 prosenttia saavutetaan myöhästeini-iässä (Baxter-Jones ym. 2011) ja nopein luun mineraalipitoisuuden kasvu tytöillä tapahtuu keskimäärin 16–18-vuoden ja pojilla 17–20-vuoden iässä. Murrosiällä ja sen ajoituksella on keskeinen merkitys luun kehityksen kannalta. Poikien ja tyttöjen luumassan kertyminen on samanlaista ennen murrosikää, mutta murrosiän jälkeen poikien luumassa kasvaa enemmän kuin tyttöjen (Davies ym. 2005).

Immuunijärjestelmä

Immuunijärjestelmä koostuu kahdesta puolustuslinjasta: synnynnäisestä (luontaisesta) sekä hankitusta immuunijärjestelmästä. Yksinkertaistettuna luontainen immuunijärjestelmä estää taudinaiheuttajia pääsemästä kehoon ja pyrkii tuhoamaan taudinaiheuttajan tulehdusreaktion avulla. Taudinaiheuttajan kohtaamisesta jää jälki niin sanottuihin muistisoluihin. Kun sama tai samanlainen taudinaiheuttaja tunkeutuu kehoon, muistisolut aktivoivat hankitun immunitietin. Hankitun immunitietin ansiosta ihminen ei sairastu uudestaan saman mikrobin aiheuttamaan tautiin tai oireet jäävät paljon lievemmiksi kuin ensimmäisellä kerralla (Murphy 2012).

Lapset elävät ensimmäisinä elinvuosinaan luontaisen immunitietin ja osin äidiltään saamiensa vasta-aineiden turvin (Macpherson ym. 2017). Lapsuudessa ja nuoruudessa luontainen ja kehittyvä hankittu immunitietti täydentävät toisiaan. Lapsen kasvaessa limakalvopuolustus vahvistuu B-solujen ja vasta-aineiden määrän nousun seurauksena. Toisaalta leukosyyttien ja erityisesti lymfosyyttien kokonaismäärä pienenee. Lymfosyyttien alaryhmissä muutokset vaihtelevat; esimerkiksi T-auttaja solujen määrän on esitetty laskevan ja T-tappaja solujen määrän pysyvän suhteellisen samana. Luonnollisten tappajasolujen suhteellinen määrä on varhaislapsuudessa pieni, mutta näyttää lisääntyvän tai pysyvän samana iän karttuessa (Timmons 2014).

Lapsuudessa saadut rokotukset ja luonnollisesti kohdatut mikrobit muovaavat immuunijärjestelmän toimintaa (Simon ym. 2015). Immuunijärjestelmän toiminta terävöityy sairastettujen infektioiden ja immunologisen muistin seurauksena. Toisaalta immuunijärjestelmän joidenkin osien toiminta saattaa heiketä heti puberteetin jälkeen, johtuen esimerkiksi heikommasta hematopoettisten kantasolujen kypsymisestä valkosoluiksi sekä kateenkorvan pienemisestä (Simon ym. 2015).

Liikuntatieteen tutkijoiden on siis kasvuikäisiä tutkiessaan hyvä ymmärtää kasvun ja kehityksen tuomat haasteet ja tutkimuksen luotettavuuden kannalta oleelliset näkökohdat. Varsinkin pitkittäistutkimuksissa ja sukupuolia – tai eri tutkimusten tuloksia – toisiinsa verrattaessa on hyvä tuntee lapsen kasvaessa ja kehittyessä tuloksiin vaikuttavat tekijät, sekä aineistoon parhaiten sovellettavat muuttujat ja tutkimusmenetelmät.

SAIJA SAVINAINEN, LL

Lastentautien erikoislääkäri

Biolääketieteen yksikkö

Itä-Suomen yliopisto

Sähköposti: saija.savinainen@uef.fi

TIMO A. LAKKA, LT

Professori

Biolääketieteen yksikkö

Itä-Suomen yliopisto

Sähköposti: timo.lakka@uef.fi

DIMITRIS VLACHOPOULOS, PhD

Lecturer

Children's Health and Exercise Research Centre,

University of Exeter

Iso-Britannia

Sähköposti: d.vlachopoulos@exeter.ac.uk

ARJA SÄÄKSLAHTI, LiT, dosentti

Yliopistotutkija

Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto

Sähköposti: arja.saakslahdi@jyu.fi

HARRI HELAJÄRVI, LT

Vt. erikoislääkäri

Paavo Nurmi -keskus ja Turun yliopisto

Sähköposti: harri.helajarvi@utu.fi

JOHANNA K. IHALAINEN, LiT

Tutkijatohtori

Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto

Sähköposti: johanna.k.ihalainen@jyu.fi

TAIJA JUUTINEN, LiT

Professori

Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto

Sähköposti: taija.m.juutinen@jyu.fi

EERO A. HAAPALA, FT

Tutkijatohtori

Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto

Biolääketieteen yksikkö,

Itä-Suomen yliopisto

Sähköposti: eero.a.haapala@jyu.fi

LÄHTEET:

- Armstrong, N., van Mechelen, W.** (toim.) 2017. Oxford Textbook of Children's Sport and Exercise Medicine, 3rd edn. Oxford University Press, Oxford
- Baxter-Jones, ADG., Faulkner, RA., Forwood, MR., ym.** 2011. Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: An estimation of peak bone mass. *Journal of Bone and Mineral Research* 26, 1729–1739.
- Davies, JH., Evans, BAJ., Gregory, JW.** 2005. Bone mass acquisition in healthy children. *Archives of Disease in Childhood* 90:373–378.
- Dunkel L.** 2009. Normaaliapoikkeavakasvu. Teoksessa: Välimäki, M., Same, T., Dunkel, L. (toim) *Endokrinologia*, 2. painos. Helsinki: Duodecim, pp 510–569
- Hidvégi, EV., Illyés, M., Benczúr, B, ym.** 2012. Reference values of aortic pulse wave velocity in a large healthy population aged between 3 and 18 years. *Journal of Hypertens* 30, 2314–2321
- Khamis, HJ., Roche, AF.** 1994. Predicting adult stature without using skeletal age: the Khamis-Roche method. *Pediatrics* 94, 504–507.
- Laukkanen, A., Joensuu, L., Ihalainen, JK., ym.** 2018. Motoristen taitojen ja lihasvoiman vuorovaikutus lapsuudessa ja nuoruudessa. *Liikunta&Tiede*.
- Macpherson, AJ., de Agüero, MG., Ganai-Vonarburg, SC.** 2017. How nutrition and the maternal microbiota shape the neonatal immune system. *Nature Reviews Immunology* 17, 508–517.
- Malina, RM., Bouchard, C., Bar-Or, O.** 2004. Growth, Maturation, and Physical Activity, 2. ed. Human Kinetics, Champaign.
- Murphy, K.** 2012. *Janeways's Immunobiology*, 12th edn. Garland Science, Taylor & Francis.
- O'Brien, TD., Reeves, ND., Baltzopoulos, V., ym.** 2010. Mechanical properties of the patellar tendon in adults and children. *Journal of Biomechanics* 43, 1190–1195.
- Reusz, GS., Cseprekal, O., Temmar, M., ym.** 2010. Reference values of pulse wave velocity in healthy children and teenagers. *Hypertension* 56, 217–224.
- Rowland, TW.** 2005. *Children's exercise physiology*, 2nd edn. Human Kinetics, Champaign.
- Saari, A., Sankilampi, U., Hannila, M-L., ym.** 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.
- Simon, AK., Hollander, GA., McMichael, A.** 2015. Evolution of the immune system in humans from infancy to old age. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* 282, 20143085 .
- Stagi, S., Cavalli, L., Iurato, C., ym.** 2013. Bone metabolism in children and adolescents: main characteristics of the determinants of peak bone mass. *Clinical Cases in mineral and bone metabolism* 10, 172–179.
- Taylor, SJ., Whincup, PH., Hindmarsh, PC., ym.** 2001. Performance of a new pubertal self-assessment questionnaire: a preliminary study. *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 15, 88–94
- Timmons, BW.** 2014. *Paediatric Exercise Immunology : health and clinical applications. ExerciseImmunologyReview* 11, 108–144.