

# **NOPEUS- JA VOIMAOMINAISUUKSIEN VERTAILU PRE- JA POSTPUBERTEETTI-ikäisillä jalkapalloilijoilla**

Elisa Hakamäki

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

Ohjaaja: Juha Ahtiainen

## TIIVISTELMÄ

Hakamäki, E. 2023. Nopeus- ja voimaominaisuuksien vertailu pre- ja postpuberteetti-ikäisillä jalkapalloilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 69 s.

Jalkapallossa pelisuorituksen kannalta olennaista on pelaajan kyvykkyys vaikuttaa pelin lopputulokseen, mitä fyysisten ominaisuuksien osalta edistävät myös pelaajan hyvät nopeus- ja voimaominaisuudet. Nuorilla pelaajilla fyysisten ominaisuuksien kehitys on seurausta biologisen kasvun ja kehityksen aikaansaamasta luontaisesta kehityksestä sekä harjoittelun yhteisvaikutuksesta. Nuorena saavutetuilla harjoitusvasteilla on merkitystä uran myöhemmässä vaiheessa. Erityisesti viime vuosikymmenenä huomio on kiinnittynyt entistä enemmän monipuoliseen hermolihasjärjestelmää kehittävään harjoitteluun jo ennen murrosikää. Hermolihasjärjestelmän harjoittamisella on vaikutusta laajasti pelaajan nopeus- ja voimaominaisuuksiin. Nuorten pelaajien luontainen fyysisten ominaisuuksien kehitys ei takaa ominaisuuksien optimaalista kehitystä vaan kehitystä tulee seurata ja arvioida suhteessa biologisen kasvun ja kehityksen vaiheeseen sekä toteutuneeseen harjoitteluun. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla nopeus- ja voimaominaisuuksien ilmenemistä eri biologisen kasvun ja kehityksen vaiheessa olevilla pelaajilla sekä tarkastella eri ominaisuuksien mahdollista yhteyttä pelaajien nopeus- ja voimaominaisuuksiin.

Tutkimukseen osallistui 16 pelaajaa, jotka jaettiin biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen perusteella pre- ja postpuberteettiryhmiin ( $11.5 \pm 0.3$  v,  $n = 8$  ja  $15.7 \pm 0.4$  v,  $n = 8$ ). Tutkittavat osallistuivat antropometristen ominaisuuksien ja fyysisen suorituskyvyn mittauksiin. Lisäksi tutkittavilta mitattiin ottelutapahtumasta pelissä saavutettu huippunopeus. Fyysisen suorituskyvyn mittauksissa nopeusvoimaominaisuuksien mittaamiseen käytettiin staattista, kevennys- sekä reaktiivisuushyppytestejä. Nopeusominaisuudet mitattiin suunnanmuutosnopeus- ja lineaarinopeustesteillä. Suunnanmuutosnopeustestinä käytettiin  $180^\circ$  käännoästä vasemmalle ja oikealle puolelle kääntyen kokonaismatkan ollen 5 m + 5 m. Lineaarinopeus mitattiin 40 m matkalta, josta mitattiin kiihdytysnopeus 10 m väliaikana, 30 m nopeus sekä maksiminopeus nopeimman väliajan keskinopeutena. Maksimivoimaominaisuudet mitattiin isometrisellä maksimivoimamittauksella jalkadynamometrissä vaaka jalkaprässissä.

Ryhmät erosivat toisistaan merkitsevästi antropometrisissa muuttujissa sekä lähes kaikissa nopeus- ja voimamuuttujissa postpuberteettiryhmän ollen nopeampia, räjähtävämpiä ja voimakkaampia prepuberteettiryhmään verrattuna ( $p < 0.05$ ). Ryhmien välillä ei havaittu eroa reaktiivisuushypyn kontaktiajassa, suunnanmuutosvajeessa, suhteellisessa isometrissä maksimivoimassa sekä pelissä mitatussa huippunopeudessa. Molemmilla ryhmillä staattisen hypyn hyppykorkeus oli voimakkaasti yhteydessä 10 m kiihdytysnopeuteen, 30 m nopeuteen sekä maksiminopeuteen ( $p < 0.05$ ). Staattisen hypyn hyppykorkeus selitti ryhmillä 58-89 % lineaarinopeuden eri muuttujien vaihtelusta. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että nopea voimantuotto vaikuttaa huomattavasti kiihdytys- ja maksiminopeuteen biologisen kasvun ja kehityksen vaiheesta riippumatta. Biologinen kasvu ja kehitys vaikuttaa fyysisten ominaisuuksien kehittymiseen vanhempien pelaajien ollen pääsääntöisesti kaikissa nopeus- ja voimaominaisuuksissa parempia nuorempiin pelaajiin verrattuna. Harjoittelussa on kuitenkin suositeltavaa huomioida nuorten pelaajien nopeus- ja voimaominaisuuksien laaja-alainen kehittäminen sekä seurata ominaisuuksissa tapahtuvaa muutosta.

Asiasanat: nuoret, murrosikä, nopeus, voima, jalkapallo

## ABSTRACT

Hakamäki, E. 2023. Comparison of speed, power and strength characteristics in pre- and post-pubertal soccer players. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Sports coaching and fitness testing master's thesis, 69 pp.

In soccer, the player's ability to influence the outcome of the game is essential part of game performance, which is also promoted by the player's good speed, power and strength characteristics. In young players, the development of physical performance is the result of natural development as well as the combined effect of training. The training responses achieved at a young age are important in the later stage of the career. Especially in the last decade, attention has been focused even more on training that develops the neuromuscular system even before puberty. Exercising the neuromuscular system has a wide impact on a player's speed, power and strength characteristics. The natural development of young players does not guarantee the optimal development of the physical performance, and the development should be monitored and evaluated in relation to the stage of biological growth and development and the actual training. The aim of this study was to compare the speed, power and strength characteristics of players at different stages of biological growth and development, and to determine the possible connections between different anthropometric and physical performance qualities.

16 players participated in the study, who were divided into pre- and postpuberty groups based on their biological age ( $11.5 \pm 0.3$  y,  $n = 8$  and  $15.7 \pm 0.4$  y,  $n = 8$ ). The subjects participated in anthropometric and physical performance tests. In addition, peak game speed were also measured from the subjects of the match. The static, countermovement jump, and reactive jump tests were used to measure power characteristics. The speed characteristics were measured using the change of direction and linear speed tests. The change of direction speed test used a  $180^\circ$  turn to the left and to the right, with a total distance of 5 m + 5 m. The linear speed was measured over a distance of 40 m, from which the acceleration speed was measured in a first 0-10 m interval, the 30 m speed and the maximum speed as the average speed of the best 10 m interval. The lower body maximum strength were measured by isometric maximum strength measurement in the horizontal leg press.

The groups differed significantly in anthropometric variables and in almost all speed, power and strength variables, the postpuberty group being faster, more explosive and stronger compared to the prepuberty group ( $p < 0.05$ ). No difference was found between the groups in the contact time of the reactive jump, the change of direction deficit, the relative isometric maximum strength and the peak game speed. In both groups, the jumping height of the static jump was strongly related to the 10 m acceleration speed, 30 m speed and maximum speed ( $p < 0.05$ ). The jumping height of the static jump explained 58-89% of the variance of the linear speed in the groups. Based on the research results, it can be stated that fast power generation have a significant effect on acceleration and maximum speed, in spite of the stage of biological growth and development. Biological growth and development effects on the development of physical performance, with older players generally being better in all speed, power and strength characteristics compared to younger players. However, when developing the physical qualities of young palyers, it can be recommended to take into account the versatility of speed, power and strength training and to monitor the changes in the physical performance taking into account the biological growth and development.

Key words: youth players, adolescence, speed, power, strength, football

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	JALKAPALLON FYYSISET SUORITUSKYKYVAATIMUKSET .....	3
2.1	Pelivaatimukset.....	3
2.2	Pelaajan aerobinen ja anaerobinen kestävyys.....	5
2.3	Pelaajan nopeus- ja voimaominaisuudet.....	6
3	FYYSISEN SUORITUSKYVYN KEHITTYMINEN NUORILLA PELAAJILLA.....	9
3.1	Biologisen kasvun ja kehityksen vaikutus fyysisten ominaisuuksien kehitykseen .	9
3.2	Biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen arviointi .....	13
4	HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN KEHITYKSEN ERITYISKYSYMYKSET .....	15
4.1	Hermolihasjärjestelmän toiminta.....	16
4.2	Voimantuotto ja lihastyötavat suorituksessa .....	18
4.2.1	Hitaan ja nopean venymislyhenemis-syklin suoritukset .....	18
4.2.2	Reaktiivinen voima.....	20
4.3	Harjoitettavuus ja harjoitusvasteet .....	21
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, KYSYMYKSET JA HYPOTEESIT.....	24
6	MENETELMÄT.....	26
6.1	Tutkittavat.....	26
6.2	Tutkimusasetelma.....	27
6.3	Fyysiset suorituskykytestit ja mitatut muuttujat.....	28
6.3.1	Antropometria, kehitysvaihe ja painopituus-suhde .....	28
6.3.2	Vertikaalisuuntaiset hyppytestit .....	29
6.3.3	Suunnanmuutosnopeus ja suunnanmuutosvaje .....	31
6.3.4	Kiihdytys ja maksiminopeus .....	32
6.3.5	Isometrinen maksimivoima .....	33

6.4	Pelistä mitattu huippunopeus.....	34
6.5	Tilastolliset menetelmät.....	34
7	TULOKSET .....	35
7.1	Ryhmien väliset erot antropometriassa sekä nopeus- ja voimaominaisuuksissa...	35
7.2	Antropometristen sekä nopeus- ja voimamuuttujien väliset yhteydet.....	37
7.3	Nopeusvoima lineaarinopeutta selittävänä tekijänä .....	42
8	POHDINTA.....	44
8.1	Antropometriset ominaisuudet .....	44
8.2	Nopeusvoimaominaisuudet .....	45
8.3	Maksimivoimaominaisuudet .....	48
8.4	Nopeusominaisuudet .....	49
8.5	Tutkimuksen vahvuudet .....	52
8.6	Tutkimuksen rajoitteet.....	52
8.7	Johtopäätökset .....	52
8.8	Jatkotutkimusaiheet .....	53
8.9	Käytännön sovellukset.....	53
	LÄHTEET .....	55

# 1 JOHDANTO

Jalkapallo edellyttää pelaajalta hyvää kestävyyskuntoa, mutta pelin intensiteetin jaksoittainen luonne aiheuttaa huomattavia vaatimuksia fyysisen suorituskyvyn eri osa-alueille. Ottelun aikana usein toistuvissa tehokkaissa suorituksissa kuten kiihdytyksissä, jarrutuksissa, sprinteissä ja suunnanmuutoksissa korostuu laajasti pelaajan nopeusominaisuudet sekä kyky tuottaa voimaa. (Stølen ym. 2005) Pelin lopputuloksen kannalta nopeita ja tehokkaita suorituksia pidetään keskeisinä (Faude ym. 2012). Samoin korkeammalla tasolla pelaavat jalkapalloilijat kykenevät suurempaan pelin intensiteettiin verrattuna alemmalla tasolla pelaaviin (Mohr ym. 2003).

Nuorilla pelaajilla fyysisten ominaisuuksien kehittyminen on seurausta biologisesta kasvusta ja kehityksestä (Philippaerts ym. 2006) sekä harjoittelun aikaansaamien vasteiden yhteisvaikutuksesta (Wrigley ym. 2014). Harjoittelu saa aikaan harjoitusvasteita jo nuorilla, joilla on merkitystä uran myöhemmässä vaiheessa, kun ominaisuudet pyritään maksimoimaan lajin vaatimusten mukaan (Meylan ym. 2014a; Myer ym. 2015; Lloyd & Oliver 2012). Biologisella kasvulla ja kehityksellä tarkoitetaan vaihetta syntymästä aikuisuuteen ensimmäisen 20-ikävuoden aikana, jolloin luontaista kehitystä tapahtuu niin fyysisissä ominaisuuksissa, motorisissa taidoissa kuin kognitiivisissa ja sosiaalisissa ominaisuuksissa. (Lloyd & Oliver 2019, 3-18) Biologinen kasvu ja kehitys jaetaan erikseen kolmeen vaiheeseen: varhaislapsuus (0-2-v), lapsuus (2-12-v) sekä nuoruus (12-18-v) (Lloyd & Oliver 2012). Nuoruus pitää sisällään murrosiän eli puberteetin. Murrosiän aikana elimistö lopulta kehittyy aikuisen tasolle. (Lloyd & Oliver 2019, 3-18)

Biologisen kasvun ja kehityksen vaiheella on vaikutusta harjoitusvasteiden suuruuteen ja siihen millainen harjoittelu on tehokkainta ominaisuuksien kehittymisen kannalta (Rumpf ym. 2012). Tyypillisesti fyysisten ominaisuuksien kehittäminen on painottunut ennen murrosikää nopeus- ja taitoharjoitteluun (Pichardo ym. 2018) ja onkin totta, että esimerkiksi voiman kehittyminen lihasten hypertrofian avulla ei ole huomattavaa ennen murrosikää (Falk & Eliakim 2014). Viime vuosikymmenen aikana on toisaalta ymmärretty voimaharjoittelun merkitys muiden fyysisten ominaisuuksien kehittymisen mahdollistajana sekä harjoitettavuus lapsuudesta alkaen kohderyhmälle sopivilla menetelmillä toteutettuna (Lloyd & Oliver 2012; Myer ym. 2015).

Vaikka nuorilla pelaajilla tapahtuu fyysisissä ominaisuuksissa luontaista kehitystä, on ominaisuuksissa tapahtuvien muutosten seuraaminen suhteessa biologisen kasvun ja kehityksen vai-

heeseen tärkeää. Lloyd ym. (2014a) mukaan biologisen kasvun ja kehitysvaiheen määrittäminen sekä seuraaminen mahdollistaa nuoren kehitysvaihetta vastaavan harjoittelun ohjelmoinnin, optimaaliset harjoitusvasteet sekä vähentää vammariskiä.

Tutkimustietoa on kuitenkin rajallisesti saatavilla etenkin prepuberteetti-ikäisten nopeusominaisuuksiin vaikuttavista taustamuuttujista (Meyers ym. 2017a; Rumpf ym. 2012), erityisesti lajikontekstiin asetettuna (Meylan ym. 2014a). Tämän tutkimuksen tarkoituksena on verrata nopeus- ja voimaominaisuuksien ilmenemistä eri biologisessa kasvun ja kehityksen vaiheessa olevilla pelaajilla sekä tarkastella eri ominaisuuksien mahdollista yhteyttä pelaajien nopeus- ja voimaominaisuuksiin.

## 2 JALKAPALLON FYYSISET SUORITUSKYKYVAATIMUKSET

Jalkapallossa kentällä pelaa kaksi joukkuetta vastakkain. Pelaajien roolit ovat maalivahti, hyökkääjä, keskikenttäpelaaja sekä puolustaja. Ottelu kestää 90 min sekä tarvittaessa tuomarin määräämän lisäajan. Peli-aika on jaettu kahteen 45 min puoliaikaan, joiden välissä on 15 min tauko. Ottelut pelataan luonnon- tai keinonurmikentällä. Virallisissa otteluissa kentän sivuraja on 100–110 m pitkä ja päätyraja 64–75 m leveä. (Suomen Palloliitto 2023) Ikäluokasta riippuen nuoremmat pelaavat ottelunsa pienemmällä kentällä, ottelun kesto on lyhyempi ja kentällä pelaa yhdessä joukkueessa 5–8 pelaajaa (Deprez ym. 2015; Harley ym. 2010).

Jalkapallossa pelaajan suorituskyky muodostuu useasta eri tekijästä kuten teknisistä, taktisista ja fyysisistä osa-alueista (Bradley & Ade 2018). Pelisuoritus ei edellytä tietyn yksittäisen fyysisen ominaisuuden maksimointia, mutta hyvää tasoa eri fyysisten ominaisuuksien suhteen. Jalkapallon fyysisissä suorituskykyvaatimuksissa on havaittavissa eroavaisuuksia pelipaikkojen välillä. (Stølen ym. 2005)

### 2.1 Pelivaatimukset

Pelistä mitattavat fyysiseen suorituskykyyn liittyvät muuttujat ovat määrään ja intensiteettiin liittyviä pelaajan sisäistä ja ulkoista kuormaa mittaavia muuttujia (Palucci Vieira 2019). Mitattavia muuttujia ovat pelaajan ottelun aikana liikkuma kokonaismatka, matka eri nopeusalueilla (Carling ym. 2008), edetty matka minuuttia kohden, kesto eri sykealueilla (Torreño ym. 2016), tehokkaiden suoritusten kuten kiihdytysten, jarrutusten ja sprinttien määrä sekä huippunopeus (Palucci Vieira, 2019).

Pelaaja liikkuu ottelun aikana keskimäärin 10–14 km. Useimmiten keskikenttäpelaajat liikkuvat eniten. (Stølen ym. 2005) Suurin osa pelistä tapahtuu matalalla ja kohtalaisella intensiteetillä. Korkealla intensiteetillä pelistä suoritetaan keskimäärin 3 %. Korkean intensiteetin suorituksiksi luokitellaan 19.8 km/h ylittävät suoritukset ja sprinteiksi yli 25.2 km/h suoritukset. (Di Mascio & Bradley 2013) Lajin intervallityyppisyys lisää lajin kuormittavuutta (Mohr ym. 2003). Tehokkaat työpaksot suhteessa lepoon vaihtelevat suhteessa 1:12 ja intensiivisimmillä jaksoilla 1:2 (Di Mascio & Bradley 2013). Kiihdytykset, jarrutukset ja suunnanmuutokset sekä pallolliset suoritukset lisäävät ottelun kokonaiskuormitusta (Nedelec ym. 2014).



Pelisuoritusten ja intensiteettien määrittelyyn käytetään aika-liikeanalyysiä sekä GPS-satelliittipaikannusjärjestelmää (GPS, Global Positioning System). Aika-liikeanalyysi toteutetaan videokuvauksella. GPS:llä mitattaessa sensorin tallentaman aika-paikkadatan avulla määritellään pelaajan liike eri intensiteettialueilla. GPS:n lisäksi sensorit sisältävät usein kiihtyvyyttä ja asentoa mittaavia komponentteja. (Carling ym. 2008)

Intensiteettialueet voidaan määritellä vakioituina nopeuksina (Di Mascio & Bradley 2013) tai prosentteina pelaajan maksiminopeudesta (Harley ym. 2010). Monet muuttujista voivat vaihdella merkittävästi riippuen esimerkiksi ottelusta ja pelipaikan vaatimuksista. Myös mittausprotokollat saattavat erota eri tutkimusten välillä. (Carling ym. 2008) Taulukossa 1 on nähtävillä miespelaajilta Euroopan korkeimmista liigaotteluista mitatut ottelun aikainen pelaajan liikkuma kokonaismatka ja matkat korkeammilla intensiteettialueilla pelipaikkojen mukaan jaoteltuna.

TAULUKKO 1. Otteluissa liikuttu kokonaismatka ja liikuttu matka korkeilla intensiteettialueilla (Rampinini ym. 2007).

	Keskuspuolustaja (n = 60)	Laitapuolustaja (n = 70)	Keskikenttäpelaaja (n = 54)	Hyökkääjä (n = 24)
TD (m)	9995 ± 652	11233 ± 664	11748 ± 612	10233 ± 677
HIR (m)	1885 ± 467	2892 ± 488	3051 ± 445	2259 ± 363
VHIR (m)	605 ± 209	997 ± 221	904 ± 223	778 ± 167

TD = kokonaismatka, HIR = korkean intensiteetin juoksu > 14.4 km/h ja VHIR = erittäin korkean intensiteetin juoksu > 19.8 km/h.

Nuorilla pelaajilla pelivaatimukset muuttuvat iän myötä samalla, kun kentän koko ja pelimuoto muuttuvat (Palucci Vieira 2019). Harleyn ym. (2010) tutkimuksessa vanhemmilla U16 pelaajilla ottelun aikainen kokonaismatka, korkean intensiteetin ja sprinttien määrä oli suurempi verrattuna nuorempiin U12 ja U13 pelaajiin. Erot vähenivät ikäluokkien välillä, kun muuttajat suhteutettiin peliaikaan (m/min). Tutkimuksessa intensiteettialueet määriteltiin suhteessa pelaajien maksiminopeuteen. Buchheitin ym. (2010a) tutkimuksessa vanhemmissa U16-U18 joukkueissa U18 pelaajat erosivat U16 ja U18 joukkueista ainoastaan suuremman sprinttimäärän perusteella.

## 2.2 Pelaajan aerobinen ja anaerobinen kestävyys

Jalkapallo edellyttää pelaajalta hyvää kestävyyskuntoa, mihin vaikuttaa lähtökohtaisesti jo ottelun kesto ja kokonaismatka. Pääasiallinen energian muodostustapa on aerobinen hapen avulla tapahtuva energiantuotto (> 90 %). (Stølen ym. 2005) Helgerudin ym. (2001) tutkimuksessa pelaajien parantunut maksimaalisen hapenottokyky ( $VO_2\max$ ) oli yhteydessä ottelun aikaisen kokonaismatkan sekä sprinttien määrän kasvuun. Maksimaalinen hapenottokyky ilmentää kehon kykyä hyödyntää happea energian muodostuksessa (McArdle ym, 2015, 236-237). Ottelun aikana pelaajan keskimääräinen hapenkulutus on ~ 75 % maksimaalisen hapenkulutuksen tasosta, lähellä anaerobista kynnystä ja 80-90 % sydämen maksimisykkeestä. Tutkimuksissa mitatut jalkapalloilijoiden  $VO_2\max$  arvot vaihtelevat 50-75 ml/kg/min välillä (Stølen ym. 2005). Euroopan korkeimpia liigoja pelaavilla jalkapalloilijoilla maksimaalisen aerobisen nopeuden tasoksi on mitattu > 17.0 km/h. Maksimaalinen aerobinen nopeus on matalin nopeuden taso, jolloin maksimaalinen hapenkulutus on mitattavissa. (Baker & Heaney 2015) Erityisesti keskikenttäpelaajat erottuvat hyvän kestävyys suorituskykynsä perusteella (Mohr ym. 2003).

Nuorilla pelaajilla pelin suhteellinen kuormitus on lähellä aikuisten pelaajien kuormitusta. Hapenkulutus on arvioiden mukaan 70-80 % maksimaalisen hapenottokyvyn tasosta (Strøyer ym. 2004). Keskisykkeeksi on mitattu 85 % sydämen maksimisykkeestä (Rebelo ym. 2014). Nuorten pelaajien suhteelliset  $VO_2\max$  lukemat ovat hyvin lähellä aikuisten pelaajien lukemia: ennen murrosikää  $58.6 \pm 5.0$  ml/kg/min ja murrosiän lopussa  $63.7 \pm 8.5$  ml/kg/min (Strøyer ym. 2006). Mendez-Villanuevan ym. (2010) tutkimuksen mukaan postpuberteetti-ikäisten pelaajien on mahdollista saavuttaa > 17.0 km/h maksimaalisen aerobisen nopeuden taso. Pre- ja midpuberteetti-ikäisillä maksimaalinen aerobinen nopeus on matalampi (prepuberteetti  $14.5 \pm 1.2$  km/h ja midpuberteetti  $15.7 \pm 1.1$  km/h).

Vaikka suurimaksi osaksi ottelun aikainen energiantuotto tapahtuu aerobisilla mekanismeilla, edellyttää lajissa ilmenevät usein toistuvat intensiiviset lyhytkestoiset 2-4 s suoritukset pelaajalta tehokasta anaerobista ilman happea tapahtuvaa energianmuodostusta (Spencer ym. 2005; Stølen ym. 2005). Lyhytkestoisissa tehokkaissa enimmillään 10 s suorituksissa energiaa muodostetaan välittömistä energialähteistä: adensiinitrifosfaatti- (ATP) ja fosfokreatiini- (FK) varastoja hyödyntäen. ATP on korkeaenerginen fosfaatti ja ainoa energialähde, mitä lihastyössä voidaan käyttää hyödyksi. ATP -varastot riittävät parin sekunnin suoritukseen, jonka jälkeen ATP:tä uudelleen muodostetaan FK -varastoista. (McArdle ym. 2015, 134-147; Spencer ym.

2005) Ottelun aikana pelaajien FK -varastot vähenevät suhteessa lepotasoon (Krustrup ym. 2006).

Mikäli suoritus kestää yli 10 s tai palautukset suoritusten välillä ovat erittäin lyhyitä, muodostetaan energiaa yhä enenevässä määrin anaerobisen glykolyysin avulla. Glykolyysissä energiantuotossa hyödynnetään glykogeeniä. Glykogeeni on hiilihydraatin varastomuoto lihassoluissa ja maksassa, mistä tuotetaan lisää ATP:tä solujen käyttöön. (McArdle ym. 2015, 134-147; Spencer ym. 2005.) Krustrupin ym. (2006) tekemän lihasbiopsia-analyysin mukaan lihasten glykogeenivarastot vähenevät huomattavasti ensimmäisellä puoliajalla ja ovat lähes tyhjentyneet toisen puoliajan jälkeen. Glykogeenin vähentyminen vähentää suorituksen tehoa. Glykolyysin yhteydessä lihassoluun muodostuu laktaattia, mikä poistuu solusta verenkierron mukana. Veren laktaattipitoisuus kertoo glykolyyttisen energianmuodostuksen tehokkuudesta, mutta ei aiheuta varsinaista väsymystä. (McArdle ym. 2015, 134-147; Spencer ym. 2005) Ottelun aikaiset elimistön laktaattipitoisuudet riippuvat pelitilanteiden aiheuttamasta kuormituksesta. Ottelun aikaisiksi huippulaktaateiksi on mitattu  $7.9 \pm 0.7$  (4.2–11.9) mmol/l. (Krustrup ym. 2006) Nuorempien pelaajien otteluissa laktaateiksi on mitattu 1.4-8.1 mmol/l (Capranica ym. 2001).

### **2.3 Pelaajan nopeus- ja voimaominaisuudet**

Jalkapallossa korostuu ensimmäisten askelten nopeus ja kyky kiihdyttää. Maksimaalisia kiihdytyksiä voi ottelun aikana tulla parikymmentä, mutta kokonaisuudessaan kiihdytysten määrä saattaa ylittää 600-700. (Russell ym. 2016) Fauden ym. (2012) mukaan lineaariset sprintit ovat usemmiten toistuva suoritus maalintekotilanteessa. Ottelun aikana yksittäisten sprinttien pituus vaihtelee 9.9-32.5 m väliltä, joista suurin osa on alle 20 m (Di Salvo ym. 2007). Schimpchen ym. (2016) mittasivat 8:sta FIFAN 2014 maailmancupin ja 11:sta muusta ottelusta Saksan maajoukkueen pelaajien ottelun aikaiseksi huippunopeudeksi keskimäärin  $33.7 \pm 1.6$  km/h. Buchheitin ym. (2010a) tutkimuksessa U13-U18 pelaajilla ottelusta mitatut huippunopeudet olivat 22.3-28.3 km/h vanhempien ikäluokkien saavuttaen suurimmat nopeudet.

Mendez-Villanueva ym. (2011) tutkimuksessa nopeimman U18 pelaajan maksiminopeus oli 35 km/h ja pelin aikainen huippunopeus  $29.5 \pm 1.4$  km/h. Pelaaja saavutti näin ollen pelissä 84 %

maksiminopeudestaan. Pelissä saavutettu nopeus on riippuvaista useista tekijöistä kuten pelaajan pelipaikasta, ominaisuuksista, vastustajasta, ottelun tilanteesta ja pelitaktiikasta (Bradley ym. 2011; Buchheit ym. 2010a; Rampinini ym. 2007). Ottelun aikana suurimmat nopeudet saavuttavat laidalla oleva keskikenttäpelaaja sekä hyökkääjä, mutta ei juurikaan puolustuksen keskellä pelaava toppari. Hyökkäävillä pelaajilla tulee olla kapasiteettia juosta ohi puolustajasta luodakseen tilaa ja maalintekopaikkoja. (Di Salvo 2009; Di Salvo 2007)

Kiihdytysten ja sprinttien ohella pelaaja muuttaa ottelun aikana useasti liikkeiden suuntaan, nopeutta ja reagoi vaihteleviin ärsykkeisiin kuten liikkuvaan palloon tai vastustajaan (Sheppard & Young 2006; Stølen ym. 2005). Suunnanmuutosnopeus ja ketteryys ovat pelaajalle keskeisiä fyysisiä ominaisuuksia. Suunnanmuutosnopeus on yhdistelmä kykyä jarruttaa, muuttaa liikkeen suuntaa sekä kiihdyttää nopeasti (Dos'Santos ym. 2017; Spiteri ym. 2015). Ketteryydessä nopeuden ja liikkeen muutos tapahtuu reagoitina tiettyyn ärsykkeeseen. Suunnanmuutosnopeus on ketteryyteen liittyvä fyysinen ominaisuus, jonka lisäksi ketteryysasuoritukseen vaikuttavat havainto-kognitiiviset osa-alueet. (Sheppard & Young 2006)

Ottelun aikana pelaajalle voi tulla lähes 700 suunnanmuutosta (Bloomfield ym. 2007a), joista yleisimmät suunnanmuutokset ovat hölkkä- ja hitaammista vauhdeista tapahtuvat käännökset (Bloomfield ym. 2007b). Merkittävä osa suunnanmuutoksista tapahtuu loivalla  $< 90^\circ$  käännöksellä vasemmalle tai oikealle kääntyen (Bloomfield ym. 2007a). Nopeita kaarrejuoksuja pelaaja voi tehdä juostessaan puolustuslinjaan 2 vastaan 1 tilanteissa (Caldbeck ym. 2022). 13 % suunnanmuutoksista vaihtelee  $90-180^\circ$  välillä. Yli  $180^\circ$  käännöksiä tapahtuu harvemmin, mutta esimerkiksi pitkän maalipotkun jälkeinen tilanne voi edellyttää yli  $180^\circ$  käännöksen tekemistä. (Bloomfield ym. 2007a)

Pelaajien nopeusominaisuuksien mittaamiseen on käytetty lineaari-, suunnanmuutosnopeutta sekä ketteryyttä mittaavia testejä. Lineaarinopeuden mittaamiseksi käytetään 30 m tai 40 m nopeustestiä väliajoilla (Buchheit ym. 2012; Sherwood yn. 2021). Ensimmäinen 5 m mittaa ensimmäisten askelten nopeutta, 5-20 m kiihdytystä ja yli 20 m matkat maksiminopeutta (Cronin & Hansen 2005). Nopeimmat pelaajat juoksevat 10 m alle 1.60 s ja 30 m alle 3.80 s (Sherwood yn. 2021; Wisløff 2004). Pelaajan suunnanmuutosnopeuden mittaamiseen on käytössä useita erilaisia menetelmiä kuten useita suunnanmuutoksia sisältäviä pujotteluja tai yksittäisen käännöksen nopeutta mittaavia testejä. Ketteryystesteissä suunnanmuutos tapahtuu reaktiona

ärsykkeeseen kuten valomerkkiin tai videokuvaan, jossa reagoidaan vastustajan liikkeisiin. (Sheppard & Young 2006)

Muita lajissa ilmeneviä tehokkaita suorituksia ovat ponnistukset. Kenttäpelaajat tekevät ylöspäin suuntautuvia ponnistuksia pyrkiessään osumaan puskulla palloon. Ponnistuksia pelissä tulee keskimäärin  $10.4 \pm 5.4$ . (Nedelec ym. 2014) Ponnistukset kuten muutkin jalkapallon nopeat ja tehokkaat suoritukset perustuvat nopealle voimantuotolle. Nopean voimantuoton perustana on pelaajan hyvä maksimaalinen suhteellinen voimataso. (Stølen ym. 2005) Pelaajien jalkojen ojentajalihasten räjähtävyyttä mitataan monesti vertikaalisuuntaisilla hyppytesteillä. Martinez-Santosin ym. (2016) pitkittäisseurannassa vuosina 1994-2012 pelaajien kevennyshypyn hyppyyden korkeus vaihteli  $45.4 \pm 4.7$  cm ja  $47.8 \pm 4.6$  cm välillä. Räjähtävimmät pelaajat saavuttavatkin yli 50 cm tason kevennyshypyssä (Stølen ym. 2005).

Jalkapallon useissa suorituksissa korostuu suhteellinen voima verrattuna absoluuttiseen voimaan. Tietyt voiman mittaussuhteet tai voima-arvot eivät ole vakiintuneet lajiin. Tämä tekee tulosten ja pelaajien vertailemisesta haasteellista. Vaihtelu voimatasojen suhteen voi olla suurta korkeallakin tasolla pelaavien jalkapalloilijoiden välillä. (Stølen ym. 2005) Yleinen konsensus riittävästä maksimivoiman tasosta joukkuelajien urheilijoilla on 2 kertaa oman kehon paino takakyykystä  $90^\circ$  polvikulmalla toteutettuna, jolloin panos-hyötysuhde parantuneista maksimivoimaominaisuuksista suhteessa lajisuoritukseen ja nopeaan voimantuottoon on lähellä optimia. (Haff & Nimphius 2012; Wisløff 2004)

### **3 FYYSISEN SUORITUSKYVYN KEHITTYMINEN NUORILLA PELAAJILLA**

Nuoruudessa tapahtuu merkittäviä muutoksia fyysisessä suorituskyvyssä. Samoin keho itsessään käy läpi huomattavan muutoksen. Biologinen kasvu ja kehitys vaikuttaa elinjärjestelmien kehittymiseen ja sitä kautta fyysisen suorituskyvyn luontaiseen kehittymiseen. Elinjärjestelmät ovat yhteiseen tehtävään erikoistuneiden elimien ryhmiä. Esimerkiksi sydämen ja verisuonten tehtävä on kuljettaa happea työtätekeville lihaksille. Tällöin sydän, keuhkot ja verisuonet muodostavat hengitys- ja verenkiertoelimistön, jonka kehitys vaikuttaa erityisesti kestävyysuorituskyvyn parantumiseen. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42) Biologisen kasvun ja kehityksen aikaansaamaa elinjärjestelmien kehitystä kutsutaan kypsy miseksi. Kypsyminen kuvaa ajoitusta ja tahtia, missä järjestyksessä muutokset tapahtuvat. Biologinen kasvu ja kehitys ei etene täysin suoraviivaisesti ja eri yksilöiden välillä saattaa olla suuriakin eroja kehitystahdissa. Siten kalenteri-ikä ei aina ilmaise yksilön todellista biologisen kasvun ja kehityksen vaihetta eli toisin sanoen biologista ikää. (Lloyd & Oliver 2019, 3-18)

#### **3.1 Biologisen kasvun ja kehityksen vaikutus fyysisten ominaisuuksien kehitykseen**

Hermosto kehittyy voimakkaasti varhaisesta lapsuudesta alkaen. Hermostoon kuuluvat keskushermosto tarkoittaen aivoja ja selkäydintä sekä ääreishermosto tarkoittaen motorisia hermoja, joita pitkin keskushermoston toimintakäskey kulkeutuu lihaksille. Lisäksi ääreishermostoon kuuluvat sensoriset hermot, jotka välittävät aisti-informaation kehosta keskushermostolle. Jo 7-vuotiailla 95 % hermostosta vastaa aikuisen hermoston kokoa. Hermoston kehittyminen vaikuttaa erityisesti motoristen taitojen kuten tasapaino-, välineenkäsittely ja liiketaitojen sekä nopeusominaisuuksien kehittymiseen. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42)

Prepuberteetti-ikäisillä fyysiseen suorituskykyyn vaikuttavia hermostollisia muutoksia ovat myeliinitoppien lisääntyminen hermosolujen ympärille, edistäen hermoimpulssin johtumisnopeutta ja viestin kulkeutumista hermostossa, uusien hermosoluyhteyksien muodostuminen sekä hermosolun tuojahaarakkeiden muodostamat uudet yhteydet. Aivojen harmaa aine lisääntyy ennen murrosikää, minkä jälkeen murrosiässä harmaa aine alkaa lopulta vähentymään. Vähentyminen on seurausta käyttämättömien synapsien karsimisesta. Samalla kun vähemmän käytetyt hermoyhteydet poistuvat, käytetyt yhteydet vahvistuvat, mikä edelleen tehostaa hermoston toimintaa. Murrosiän aikana saavutetaan täysi hermoston toiminnallinen

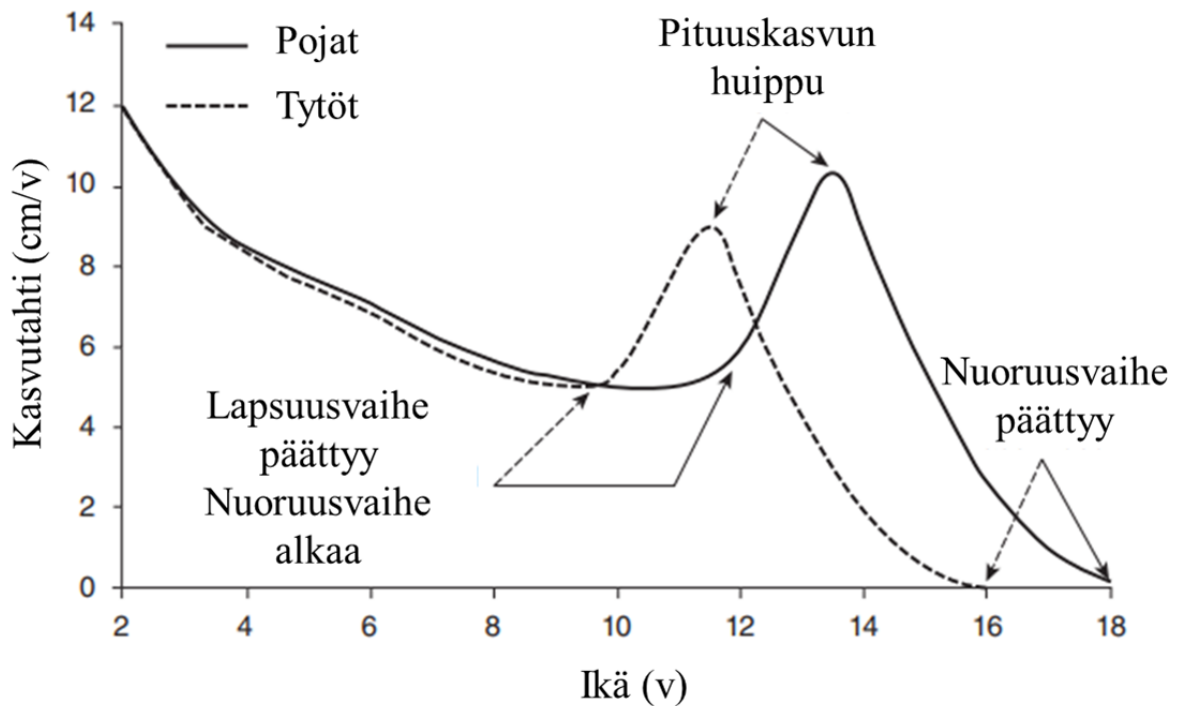
kypsyys, jolloin yksilö kykenee suoriutumaan aikaisempaa paremmin haastavimmistakin motorisista tehtävistä. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42)

Tuki- ja liikuntaelimitykseen kuuluvat luut, jänteet sekä lihakset. Lihakset kiinnittyvät luihin jänteiden avulla, jolloin lihassupistuksen aikaansaama voima välittyy jänteiden kautta luihin saaden kehon vipuvarret liikkumaan. Tuki- ja liikuntaelimityksen kehitys on voimakkaasti yhteydessä endokriinisen säätelyjärjestelmän kehitykseen, mikä vaikuttaa laajasti fyysisen suorituskyvyn kehittymiseen. Endokriiniseen säätelyjärjestelmään kuuluvat hormoneita erittävät umpirauhaset. Hormonit säätelevät kehon kasvua ja aineenvaihduntaa. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42)

Endokriinisen säätelyjärjestelmän kehitys ajoittuu murrosikään (Faigenbaum ym. 2020, 19-42). Vanttisen ym. (2010) tutkimuksessa tutkittavien kehon androgeeneistä testosteronin pitoisuus oli 10-vuotiailla pojilla  $0.15 \pm 0.56$  nml/l pitoisuuden ollen merkittävästi korkeampi  $17.18 \pm 5.72$  nml/l 14-vuotiailla pojilla. Murrosiässä erityisesti lisääntynyt kehon testosteroni vaikuttaa pojilla lihassmassan kasvuun (Falk & Eliakim 2014). 5-17-ikävuoden aikana suhteellinen lihassmassan osuus lisääntyy 28.5 % lihasten pituuden ja poikkipinta-alan kasvaessa (Faigenbaum ym. 2020, 19-42). Lihassoima on lähes suoraan verrattavissa lihaksen poikkipinta-alan suuruuteen kehitysvaiheesta riippumatta (Tonson ym. 2008). Lihassoiman parantumisessa tapahtuva nopea kehityksen vaihe ajoittuu 14-16 ikävuoteen jatkuen aina 18-ikävuoteen asti (Virus ym. 1998). On myös esitetty, että lihassolujakauma muuttuisi lapsuudesta aikuisuuteen. Lexell ym. (1992) arvioiden mukaan nopeasti ja voimakkaasti supistuvien II tyypin lihassolujen osuus kasvaisi 35 %:sta 50 %:in 5- ja 20-ikävuoden aikana. Voimantuottoon vaikuttaa lisäksi pennaatiokulman lisääntyminen. Pennaatiokulma tarkoittaa lihassyiden kiinnityskulmaa suhteessa jänteeseen tai aponeuroosiin, mikä kasvaa lihassmassan lisääntyessä. (Binzoni ym. 2001)

Kasvun ja kehityksen aikana luut kasvavat pituutta ja luiden massa lisääntyy. Luusto kehittyy ja saavuttaa täyden kypsyyden siinä vaiheessa, kun aikuispituus on saavutettu sekä, kun luiden varren ja pään välissä sijaitsevat kasvulevyt ovat sulkeutuneet. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42.) Pituuskasvun kehitys on yhteydessä muun elimistön kehitykseen ajoittuen lähelle endokriinisen säätelyjärjestelmän kypsymistä (Vanttinen ym. 2011). Insuliinin kaltaisen kasvutekijän (IGF-1) pitoisuus elimistössä lisääntyy vuotta ennen pituuskasvun huippua sekä vuosi pituuskasvun huipun jälkeen. Pituuskasvun huippu tarkoittaa nopeinta pituuskasvun muutosta vuodessa. (Round ym. 1999) Ennen murrosikää kehon kasvu on tasaista. Murrosiässä kasvu kiihtyy, mikä

usein tunnistetaan murrosikään liittyvänä kasvupyrähdyksenä. (Faigenbaum ym. 2020, 43-65) Philippaerts ym. (2006) mittasivat nuorilla poikapelaajilla kasvupyrähdyksen aikana pituuskasvun tahdiksi  $9.5 \pm 1.5$  cm/v ja painon muutokseksi  $8.4 \pm 3.0$  kg/v. Pituuskasvun huippu ilmenee työillä keskimäärin 12- ja pojilla 14-ikävuoden kohdalla (kuva 1). IGF-1 vaikuttaa pituuskasvun ohella proteiinisynteesiin. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42, 43-65)



KUVA 1. Kasvutahti biologisen kasvun ja kehityksen eri vaiheissa (mukailtu Lloyd & Oliver 2019, 6).

Muita tuki- ja liikuntaelimistössä tapahtuvia muutoksia ovat jänteiden rakenteissa tapahtuvat muutokset. Prepuberteetti-ikäisillä jänteet ovat joustavat, mutta muuttuvan kasvun ja kehityksen myötä jäykemmiksi (Kubo ym 2001). Samoin jänteiden poikkipinta-ala ja pituus kasvavat (O'Brien ym. 2010). Vastaavasti koko lihasjännekompleksin jäykkyys lisääntyy, millä on vaikutusta tehontuottoa edellyttävien suoritusten parantumiseen. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42)

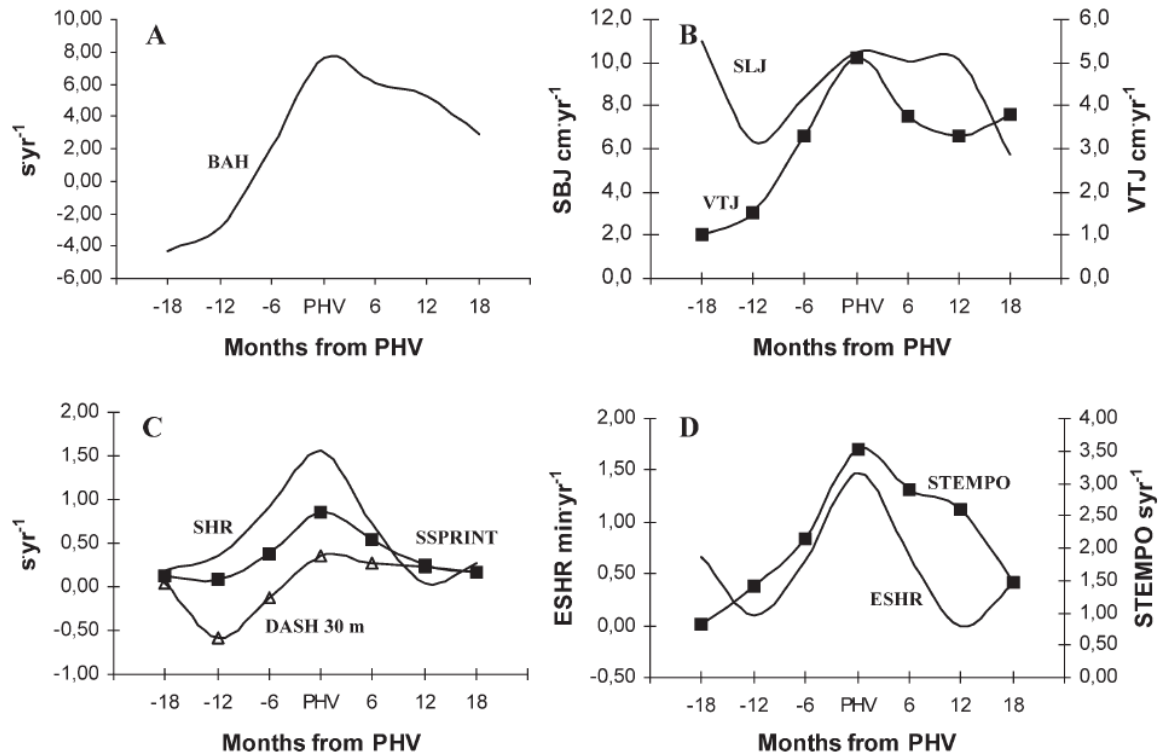
Kestävyys suorituskyky kehittyy lapsuudesta nuoruuteen hengitys- ja verenkiertoelimistön kehityksen myötä. Absoluuttinen maksimaalinen hapenottokyky kehittyy 8-ikävuodesta 16-ikävuoteen saakka lähes lineaarisesti. Voimakkainta kehitys on 13- ja 15-ikävuoden välissä. (Armstrong & McNarry 2016) Maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen vaikuttavat



sydämessä tapahtuvat rakenteelliset muutokset, sydämen iskutilavuuden kasvu sekä veren hemoglobiinin lisääntyminen. Sydämen koon kasvu liittyy yleisesti kehon koon kasvuun. Keuhkojen massa kasvaa ja keuhkorakkuloiden määrä moninkertaistuu lapsuudesta aikuisuuteen. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42) Kehon painoon suhteutettuna maksimaalinen hapenottokyky säilyy kuitenkin lähes muuttumattomana (Tomkinson ym. 2018). Suhteellisella maksimaalisella hapenottokyvyllä on merkitystä kestävyysuorituksissa, joissa liikutetaan omaa kehoa. Vaikka suhteellinen maksimaalinen hapenottokyky säilyykin muuttumattomana, voidaan kestävyysuorituskyvyssä havaita kehitystä, sillä muut kestävyysuoritukseen vaikuttavat tekijät kuten suorituksen taloudellisuus ja anaerobinen energiantuotto kehittyvät biologisen kasvun ja kehityksen vaikutuksesta. (Lloyd & Oliver 2019, 241- 260)

Biologisen kasvun ja kehityksen vaikutukset fyysiseen suorituskykyyn on havaittavissa myös harjoittelevilla nuorilla. Philippaertsin ym. (2006) tutkimuksessa jalkapalloilevilla pojilla ylävartalon kestovoima- ja jalkojen nopeusvoimaominaisuuksien kehitys kiihtyi 12-18 kk ennen pituuskasvun huippua. Kehitys tasaantui tai laski lähemmäs lähtötasoa pituuskasvun huipun jälkeen. Nopeusvoimatesteistä vauhdittoman pituushypyn havaittiin hetkellisesti heikkenevän ennen nopeimman kasvun vaiheen alkua. Vastaava havainto tehtiin 30 m lineaarinopeuden osalta. Lineaarinopeus heikkeni hetkellisesti, jonka jälkeen kehitys oli voimakasta saavuttaen tasanteen pituuskasvun huipun jälkeen. 5 \* 10 m ja 10 \* 5 m viivajuoksu-testit noudattelivat lineaarinopeuden kehityssuuntaa. Aerobinen kestävyys kehittyi muiden fyysisten ominaisuuksien kaltaisesti kehityksen kiihtyen ennen pituuskasvun huippua ja kehityksen hidastuen voimakkaan kasvun päätyttyä. Anaerobinen pidempikestoinen nopeuskestävyys kehittyi vastaavasti voimakkaasti ennen pituuskasvun huippua, mutta kehitysnopeus säilyi pidempään verrattuna aerobiseen kestävyYTEEN.

Philippaertsin ym. (2006) tutkimuksen tulokset ilmentävät poikien murrosiässä havaittavaa kiihtynyttä fyysisten ominaisuuksien kehitystä, mikä on yhteydessä elinjärjestelmien kehitykseen. Tulokset on esitetty kuvassa 2. Fyysiset ominaisuudet eivät murrosiässä täysin kehity ainoastaan luontaisesti vaan kehitys edellyttää vähintäänkin fyysistä aktiivisuutta. Hetkellinen fyysisen suorituskyvyn heikkeneminen on myös hyvin tunnistettu ilmiö, mikä johtuu kehon mittasuhteiden nopeasta muutoksesta erityisesti nopean kasvun vaiheen alussa ja sitä myöten heikentyneestä koordinaatiosta. (Faigenbaum ym. 2020, 43-65)



KUVA 2. Fyysisen suorituskyvyn kehitys ennen ja jälkeen pituuskasvun huipun. BAH = riipunta kädet koukussa, VJT = ylöspäin suuntautuva hyppy, SLJ = vauhditon pituushyppy, SHR = 5 \* 10 m viivajuoksu, DASH 30 m = lineaarinopeus 30 m, SSPRINT = 10 \* 5 m viivajuoksu, ESHR = aerobinen kestävyys kestävyyssukkulajuoksusta mitattuna ja STEMPO = 300 m viivajuoksu (Philippaerts ym. 2006).

Philippaerts ym. (2006) tutkimus ilmentää miten biologinen kasvu ja kehitys vaikuttaa fyysisen suorituskyvyn kehitykseen ja selittää osaa kehityksestä 15-16-ikävuoteen asti, jonka jälkeen voidaan olettaa harjoittelun alkavan selittämään yhä suuremmassa määrin suorituskyvyssä tapahtuneita muutoksia.

### 3.2 Biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen arviointi

Kasvun ja kehityksen vaiheittainen tietystä järjestyksessä tapahtuvat muutokset mahdollistavat biologisen iän arvioinnin. Yleisesti käytössä olevia arviointimenetelmiä ovat luustoiän mittaaminen, sekundaaristen sukupuolimerkkien arviointi sekä painon ja pituuden kehityksessä tapahtuvien muutosten mittaaminen. (Lloyd & Oliver 2019, 3-18) Luustoiän mittaaminen on tarkimpia menetelmiä biologisen iän arviointiin. Mittaus tapahtuu käden ja ranteiden luiden kasvulevyjen

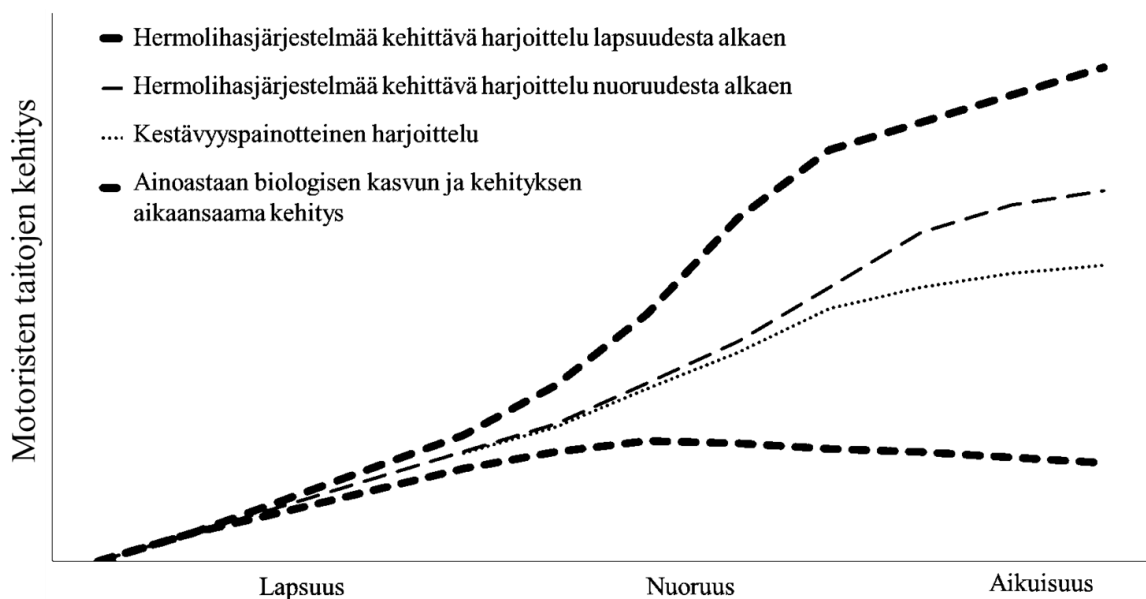
röntgenkuvauksella. Luustoikää verrataan kalenteri-ikään, jolloin kyetään määrittelemään biologinen ikä kalenteri-ikään verrattuna. (Sherar ym. 2005) Menetelmän rajoitteita ovat kallis hinta sekä röntgenkuvauksen aiheuttama säteilyrasitus (Mirwald ym. 2002). Biologisen iän arviointi sekundääristen sukupuolimerkkien perusteella toteutetaan terveydenhuollon ammattilaisen toimesta. Arvioinnissa käytetään Tannerin (1962) 5 portaista asteikkoa. (Sherar ym. 2005) Antropometrisilla mittauksilla biologinen ikä arvioidaan joko tarkastelemalla muutosnopeutta antropometrisissa muuttujissa tai arvioimalla etäisyys pituuskasvun huippuun. Biologisen iän arviointi kasvutahdin perusteella edellyttää useita mittauskertoja, jolloin saadaan määritettyä kasvukäyrä. Mikäli pitkittäisseurantaa ei ole mahdollista toteuttaa, voidaan etäisyys pituuskasvun huipusta arvioida vertaamalla jalkojen pituuden ja istumapituuden suhdetta. (Faigenbaum ym. 2020, 43-65)

Pituuskasvu ei tapahdu tasaisesti koko kehossa. Ennen murrosikää alaraajojen ja ylävartalon pituus kasvaa tasaisesti. Murrosiässä pituuskasvun kiihtyminen alkaa alaraajoista ja sen jälkeen keskivartalossa. Murrosiän jälkeen kasvu tasaantuu. Kehon paino tulee hieman perässä suhteessa pituuskasvuun. Iän, painon, pituuden sekä ylä- ja alaraajojen pituuden perusteella voidaan määrittää ennusteyhtälö, mikä ilmaisee etäisyyden pituuskasvun huippuun vuosina. (Faigenbaum ym. 2020, 43-65; Mirwald ym. 2002) -1 vuotta tai enemmän pituuskasvun huipusta tarkoittaa, että nopea kasvun vaihe ja murrosikä eivät ole vielä alkaneet. Lukema lähellä 0 tarkoittaa murrosikäisiä ja +1 tai enemmän murrosiän ja pituuskasvun huipun jälkeistä vaihetta. (Lloyd & Oliver 2019, 3-18). Menetelmää on yleisesti käytetty tutkimuksissa nuorten pelaajien biologisen iän arviointiin (Asadi ym. 2018; Buchheit & Mendez-Villanueva 2013).

#### 4 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN KEHITYKSEN ERITYISKYSYMYKSET

Lapsuus on tyypillisesti mielletty taito- ja nopeusominaisuuksien kehittämisen herkkyyskaudeksi hermoston aikaisen kehittymisen vuoksi ja voimaominaisuuksien kehittämisen herkkyyskaudeksi murrosikä sekä sen jälkeinen ajanjakso, johtuen endokriinisen säätelyjärjestelmän kehittymisestä. Herkkyyskaudella tarkoitetaan ajanjaksoa, jolloin tietyn fyysisen ominaisuuden harjoittelu on optimaalisinta. (Pichardo ym. 2018) Nykyisin korostetaan enemmän kaikkien fyysisten ominaisuuksien kehittämistä jokaisessa biologisen kasvun ja kehityksen vaiheessa (Lloyd & Oliver 2012).

Erityisesti lasten ja nuorten harjoittelussa painottuu monipuolinen hermolihasjärjestelmän kehittäminen (Myer ym. 2015). Hermolihasjärjestelmällä tarkoitetaan hermostoa ja kaikkia hermoston käskyttämiä lihaksia (Enoka, 2015, 205-311). Monipuolinen hermolihasjärjestelmää kehittävä harjoittelu on nopeus- ja voimapainotteista ominaisuusharjoittelua yhdistettynä liike- ja havaintomotoristen taitojen opetteluun (Myer ym. 2015). Nykytietämyksen mukaan voimaominaisuudet ovat harjoitettavissa sekä yhteydessä nopeus- ja taito-ominaisuuksien kehittämiseen lapsuudesta alkaen (Behringer ym. 2011). Kuvassa 3 on esitetty teoreettinen malli monipuolisen hermolihasjärjestelmää kehittävän harjoittelun vaikutuksista motoristen taitojen kehittämiseen lapsuudesta aikuisuuteen.



KUVA 3. Monipuolisen hermolihasjärjestelmää kehittävän harjoittelun vaikutus motoristen taitojen kehittämiseen (mukailtu Myer ym. 2015).

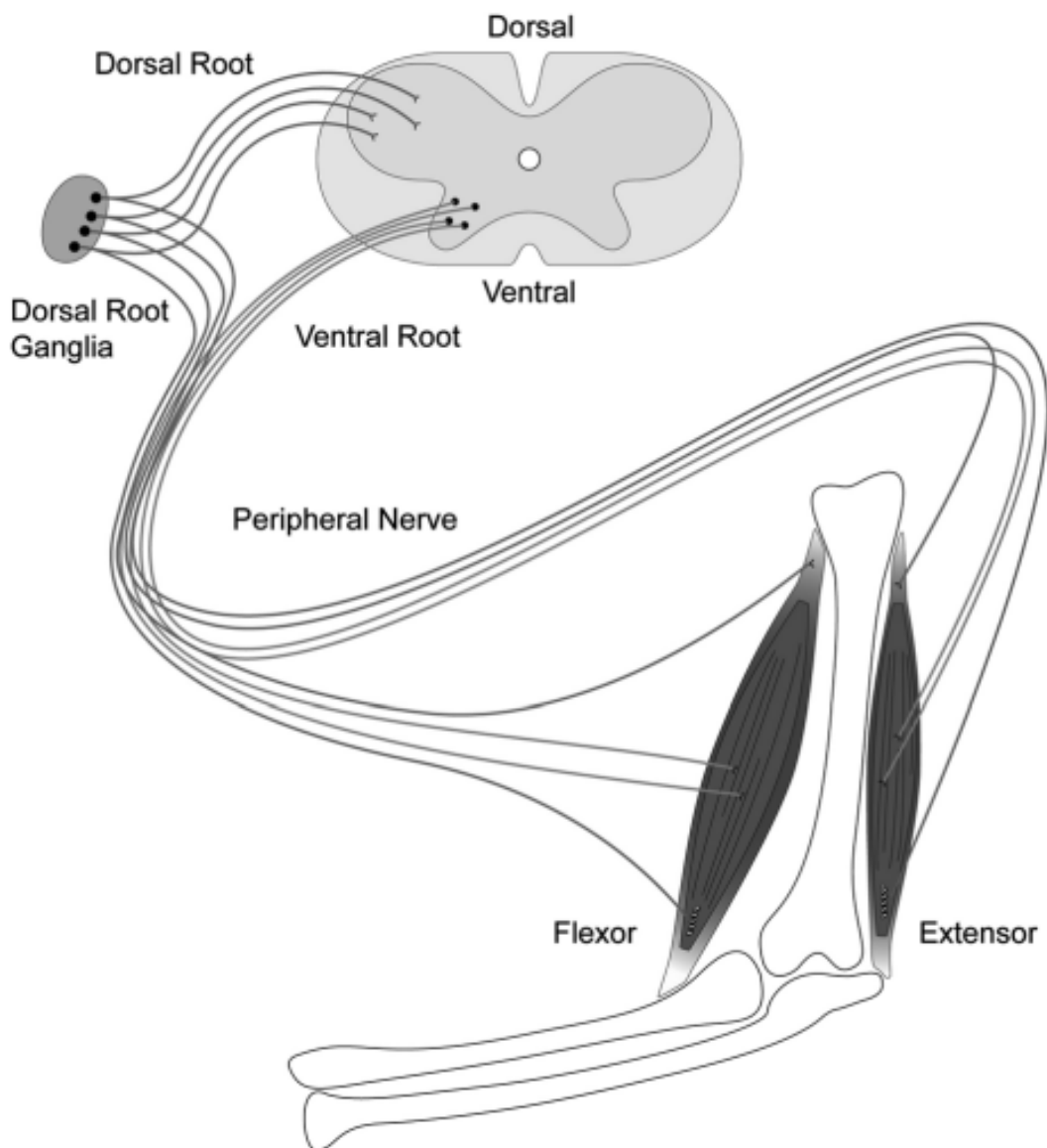
#### 4.1 Hermolihasjärjestelmän toiminta

Hermolihasjärjestelmä vaikuttaa liikkeiden säätelyyn ja voimantuottamiseen suorituksessa. Tahdonalaisissa liikkeissä toimintakäskyä säädellään isoaiivokuorella. Isoaiivokuorella sijaitsee eri kehonosien liikkeisiin erikoistuneita alueita ja pään takaosassa pikkuaivot vaikuttavat tasapainon säätelyyn ja liikkeiden koordinaatioon. Aivorungon kautta aivojen hermot yhdistyvät selkäyttimeen. Selkäydin on yhteydessä ääreishermostoon, josta motoriset hermot lähtevät selkäytimen etujuuresta jakaantuen ympäri kehoa käskytettäviin lihaksiin. Sensoriset hermot, jotka tuovat viestiä kehon eri osista keskushermostolle, kulkevat selkäytimen takajuuresta. Keskushermosto muodostaa yhdessä ääreishermoston kanssa pyramidaalijärjestelmän. Pyramidaalijärjestelmä koostuu useista eri järjestelmistä, joista kortikospinaalinen rata vaikuttaa liikkeisiin. Kortikospinaalisen radan kautta kulkeutuu suora viesti aivoista, selkäytimen kautta motorisiin hermoihin ja lihaksille. (Enoka 2015, 205-311)

Motorinen hermo muodostaa yhdessä lihassolun kanssa motorisen yksikön. Motorinen yksikkö tarkoittaa poikkijuovaisen luihin kiinnittyvän lihassolun tai lihassolujen sekä sitä hermottavan motorisen hermosolun muodostamaa kokonaisuutta. (Enoka 2015, 205-311) Motoriset yksiköt rekrytoidaan pienemmästä yksiköstä suurempaan Hennemanin kokoperiaatteen mukaisesti. Kuormituksen lisääntyessä yhä useammat motoriset yksiköt aktivoituvat. Ensin aktivoituvat pienet ärsytyskynnykseltään matalat yleensä hitaat I tyyppin motoriset yksiköt. Suurilla nopeilla II tyyppin motorisilla yksiköillä rekrytointikynnys on suuri, mikä tarkoittaa sitä, että suorituksetta vaaditaan paljon intensiteettiä eli voimaa ja/tai nopeutta, jotta kaikista suurimmatkin motoriset yksiköt on mahdollista rekrytoida käyttöön. (Kraemer & Looney 2012)

Sensoriset hermot ovat yhteydessä sensorisiin reseptoreihin, jotka aistivat lihasvoimassa, -pituudessa ja paineessa tapahtuvia muutoksia. Liikkeen kannalta keskeisimpiä sensorisia reseptoreita ovat lihasspindelit sekä golgin jänne-elin. Lihasspindelit sijaitsevat rinnakkain lihassolujen kanssa aistien lihaksen pituuden muutosta. Golgin jänne-elin sijaitsee lihasten ja jänteiden liittymäkohdissa. Golgin jänne-elin aistii muutoksen kehoon kohdistuvissa voimissa. (Enoka 2015, 205-311) Lihasspindeleiden toiminta lisää lihassupistusta ja sitä kautta voimantuottoa suorituksissa ja golgin jänne-elimen toiminta rentouttaa lihasta vähentäen voimantuottoa. Golgin jänne-elimen tehtävä on suojella kehoa liian suurilta voimilta. (Turner & Jeffreys 2010)

Kaikki liikkeiden säätely ei tapahdu aivojen kautta vaan myös selkäydin tasolla. Tällöin kyse on reflekseistä. Refleksit ovat nopeita vasteita kehon liikkeiden muutoksille ja ovat keskeisessä roolissa rytmisissä sekä nopeissa liikkeissä. Motoriset ja sensoriset hermot voivat olla suoraan yhteydessä toisiinsa välineuronin avulla. Resiprokaalinen inhibitio on hyvä esimerkki moneen suoritukseen vaikuttavasta refleksitoiminnosta. Resiprokaalisessa inhibitiossa vaikuttajalihaksen supistuminen saa aikaan vastavaikuttajalihaksen rentoutumisen. Supistuvan lihaksen lihasspindeleistä kulkeutuu viesti selkäyttimeen, josta puolestaan palaa takaisin supistumiskäsky vaikuttajalihakselle sekä rentoutumiskäsky vastavaikuttajalihakselle. (Enoka 2015, 205-311) Kuvassa 4 selkäytimestä lähtevät perifeerisen hermoston motoriset ja sensoriset hermot ovat yhteydessä lihakseen ja jänteisiin (Burgess 2016).



KUVA 4. Hermolihasjärjestelmän rakenne (Burgess 2016).

## 4.2 Voimantuotto ja lihastyötävät suorituksessa

Dynamiikan peruslakien mukaisesti liikkeen aikaansaaminen edellyttää voimaa. Lihaskuitu tuottaa voimaa suorituksen aikana kolmella eri lihastyötavalla: konsentrisesti, jolloin lihaskompleksin pituus lyhenee, eksentrisesti, jolloin lihaskompleksin pituus kasvaa sekä isometrisesti, jolloin lihaskompleksin pituus säilyy muuttumattomana eikä näkyvää liikettä tapahdu. Tahdonalaisella konsentrisella lihassupistuksella ei ole mahdollista saavuttaa optimaalista suoritusta, etenkin erittäin nopeissa suorituksissa, vaan monissa suorituksissa hyödynnetään eksentris-konsentrista lihastyötä. Kyseinen ilmiö tunnetaan venymislyhenemis-syklillä. (Enoka 2015, 35-36, 205-311; Turner & Jeffreys 2010)

Venymislyhenemis-syklissä esiaktiivinen lihas venyy nopeasti suorituksen eksentrisessä vaiheessa, jolloin elastinen energia varastoituu jänteisiin ja lihaksiston elastisiin rakenteisiin. Eksentristä vaihetta seuraa lyhytkestoinen isometrinen vaihe ja tämän jälkeen konsentrisen vaihe, jolloin varastoitunut energia vapautuu tehostaen suoritusta. Lihaskompleksiin kohdistuva venytys ja voima vaikuttavat sensorisiin reseptoreihin. Lihasspindelien aistima lihasten venytys saa aikaan venytysrefleksin, jolloin vaikuttajalihas supistuu voimakkaammin ja konsentrisen vaiheen voimantuotto parantuu. Spindelien vaikutusta venymislyhenemis-syklissä on kuitenkin kyseenalaistettu ja vaikutusta pidetään varsin vähäisenä etenkin pidempikestoisten suoritusten kohdalla. Todennäköisemmin suoritukseen vaikuttava hermostollinen tekijä on golgin jänne-elimen aktiivisuus, mikä vähentää lihaksen voimantuottoa venymislyhenemis-syklillä aikana. Harjoittelun myötä golgin jänne-elimen aktiivisuus vähenee, mikä mahdollistaa voimantuoton lisääntymisen suorituksen konsentrisessä vaiheessa. (Enoka 2015, 205-311; Turner & Jeffreys 2010)

### 4.2.1 Hitaan ja nopean venymislyhenemis-syklillä suoritukset

Suorituksen kesto vaikuttaa venymislyhenemis-syklillä toimintaan. Suoritukset, joissa venymislyhenemis-sykli ilmenee, jaetaan kontaktin keston perusteella hitaisiin yli 250 ms ja nopeisiin alle 250 ms kestoisiin suorituksiin. Usein nopeusvoimaominaisuuksien testauksessa käytetty kevennyshyppy luokitellaan hitaan venymislyhenemis-syklillä suoritukseksi. Kevennyshypyssä voimaa tuotetaan kontaktissa 500-1000 ms. Kevennyshypyssä suorituksen alasmenvaihe on

eksenttrinen. Hypyn ponnistus- ja ylösmenovaiheessa voimaa tuotetaan konsentrisesti. (Turner & Jeffreys 2010)

Staattista ja kevennyshyppyä käytetään monesti esimerkkeinä venymislyhenemis-syklin vaikutuksesta suoritukseen. Kevennyshypyssä saavutetaan lähtökohtaisesti suurempi hyppykorkeus ja teho staattiseen hyppyyn verrattuna. Staattisessa hypyssä ponnistuksen aloitus tapahtuu paikaltaan kyykkyasennosta ilman esikevennystä. Voimaa tuotetaan pääasiallisesti konsentrisesti. (McBride ym. 2008) Bobbertin ja Casiuksen (2005) tutkimuksessa esikevennys paransi hyppy-suoritusta ~ 7.6 %. Teho-nopeuslajien urheilijoilla kevennyshypyn ja staattisen hypyn ero on tyypillisesti suurempi verrattuna kestävyyslajien urheilijoihin (Van Hooren & Zolotarjova 2017). Lapsilla staattisen ja kevennyshypyn välisen eron on havaittu olevan 2-5 % luokkaa (Lloyd ym. 2009).

Merkittävin selittävä tekijä staattisen ja kevennyshypyn erossa on kuitenkin suorituksen kesto. Staattisessa hypyssä voimaa tuotetaan 300-430 ms eli huomattavasti lyhyemmän aikaa verrattuna kevennyshypyyn. Pidempikestoisen suorituksen aikana lihasjännekompleksi on mahdollista aktivoida paremmin käyttöön, jolloin myös voimaa kyetään tuottamaan enemmän. Elastisen energian varastoitumisella on todennäköisesti hyvin vähäinen vaikutus kevennyshypyn hyppykorkeuteen. (Bobbert & Casius 2005; Van Hooren & Zolotarjova 2017)

Juoksemiseen perustuvista liikkeistä suunnanmuutosnopeus- ja ketteryyssuoritukset ovat pääasiallisesti hitaan venymislyhenemis-syklin suorituksia suunnanmuutosaskeleen askelkontaktin keston ollessa > 300 ms. Suunnanmuutosnopeudessa jarrutusvaiheessa ennen käännöstä voimaa tuotetaan eksentrisesti, käännöksen aikana isometrisesti sekä uudelleen kiihdytyksessä konsentrisesti. Suunnanmuutoksessa lihastyötapojen muutos eksentrisestä konsentriseen tapahtuu lyhyessä ajassa, etenkin nopeissa loivissa käännöksissä. (Dos´Santos ym. 2017; Spiteri ym. 2015)

Maksimijuoksussa ja pudotushypyissä venymislyhenemis-sykli toimii erittäin lyhyen ajan sisällä. Maksimijuoksussa kontaktiaika on ~ 100 ms. Tällöin jalka toimii jousen tavoin ja elastisen energian hyödyntäminen on merkittävämpää verrattuna hitaampiin suorituksiin. (Turner & Jeffreys 2010; Wilson & Flanagan 2008) Juostessa askelkontaktin alku on eksenttrinen vaihe ja askeleen loppu on konsenttrinen työntövaihe. Nopeissa suorituksissa lihakset eivät ennätä tekemään eksentristä ja konsentrista lihastyötä vaan lihasjännekompleksin pituuden muutos tapahtuu elastisissa rakenteissa ja lihas itsessään supistuu isometrisesti. (Turner & Jeffreys 2010)



#### 4.2.2 Reaktiivinen voima

Reaktiivista voimaa käytetään monesti synonyyminä venymislyhenemis-syklin toiminnalle. Wilsonin ja Flanaganin (2008) mukaan reaktiivinen voima ilmentää kykyä tuottaa paljon voimaa lyhyessä ajassa, minkä mittaamiseen käytetään reaktiivisen voiman indeksiä (RSI, reactive strength index). Indeksillä lasketaan tyypillisesti hyppysuorituksista jakamalla hyppykorkeus kontaktin kestolla. Reaktiivisella voimalla on havaittu olevan yhteys useisiin suorituksiin: maksimijuoksuun (Chelly & Denis 2001), kiihdytykseen (Lockie ym. 2015), ketteryuteen (Young ym. 2017) ja suunnanmuutosnopeuteen (Young ym. 2015). Esimerkiksi juoksunopeutta määrittää kaksi toisilleen vastakkaista muuttujaa eli askeltiheys ja askelpituus. Askeltiheys on riippuvaista askelkontaktin kestosta ja askeleen lentoajasta. Askelpituuteen vaikuttaa askelkontaktin aikana tuotettu voima. Mikäli juoksuaskeleessa pyritään lisäämään voimantuottoa ja sitä myöten askelpituutta, voi askelkontaktin kesto pidentyä. (Lockie ym. 2012) Nopeimmat juoksijat erottuvat muista suuremman askeltiheyden, nopeamman askelkontaktin ja pidemmän askelpituuden puolesta, mikä korostaa voimantuoton merkitystä suhteessa aikaan. (Paradisis ym. 2019) Nopeat ja tehokkaat suoritukset ovat siten vaihtokauppaa voiman ja ajan suhteen.

Reaktiivisuutta suorituksessa lisää lihasten esiaktiivisuus ja rakenteelliset tekijät. Juostessa ja ponnistaessa lihasten esiaktiivisuus lisää alaraajojen jäykkyyttä askelkontaktissa, mikä edistää elastisen energian varastoitumista ja käyttöä suorituksen aikana sekä nopeuttaa askelkontaktia. Alaraajojen jäykkyyteen vaikuttaa jänteiden ja nivelten jäykkyys (stiffness). Jänteiden jäykkyys on riippuvaista jänteiden rakenteellisista ominaisuuksista. Nivelten jäykkyys on riippuvaista vaikuttaja- ja vastavaikuttajalihasten samanaikaisesta supistumisesta eli koaktivaatiosta. (Kubo & Ikebukuro 2019; Wilson & Flanagan 2018.) Jäykkyys ja hyvä vertikaalinen eli pystysuuntainen voimantuotto estävät kehon massakeskipisteen, mikä sijaitsee lantion alueella juostessa (Haugen ym. 2019a), vajoamista alas parantaen etenkin maksimijuoksun suoritustekniikkaa (Paradisis ym. 2019).

Reaktiivisella voimantuotolla on merkitystä myös kiihdytyksessä, mutta ei niin suuressa määrin kuin maksimijuoksussa. Hyvillä juoksijoilla alaraajojen jäykkyys ei juuri eroa kiihdytyksen ja maksimijuoksun välillä. (Haugen ym. 2019a) Kiihdytys eroaa teknisesti ja voimantuotollisesti maksimijuoksusta. Kiihdytyksessä pyritään lisäämään nopeutta, kun puolestaan maksiminopeudessa nopeus on vakio (Enoka 2015, 35-36). Askelkontaktin kesto on hieman

pidempi (~ 150 ms). Suoritus on riippuvaista ensisijaisesti kyvystä tuottaa 1) suuri määrä voimaa suhteessa kehon massaan, 2) voimaa tulee tuottaa riittävän nopeasti askelkontaktin aikana sekä 3) horisontaali- eli vaakasuuntaan. (Rabita ym. 2015) Kiihdytyksessä ylävartalolla nojataan enemmän eteenpäin, kehon massakeskipiste on alempana ja polvi on voimakkaammin koukussa askelkontaktissa verrattuna maksimijuoksuun (Haugen ym. 2019a; Paradisis ym. 2019), mikä mahdollistaa kolmivaiheisen ojennuksen hyödyntämisen lantiosta, polvesta ja nilkasta (Meylan ym. 2014a). Vaikka kiihdytyksessä horisontaalinen voimantuotto on keskeinen, tarvitaan myös vertikaalista voimantuottoa, mikä estää kiihdytyksenkin aikana kehon massakeskipisteen vajoamisen alas (Haugen ym. 2019a).

### **4.3 Harjoitettavuus ja harjoitusvasteet**

Nopeusharjoittelussa käytetään lyhytkestoisia tyypillisesti alle 6 s suorituksia maksimaalisella tai lähes maksimaalisella > 95 % intensiteetillä (Haugen ym. 2019b). Toistojen välissä pidetään pitkiä ja passiivisia palautuksia. (Mora ym. 2018; Rumpf ym. 2012) Nopeussuoritusten pääasiallinen energiantuottotapa on välittömät energialähteet (Spencer ym. 2005). Välittömät energialähteet ja niiden hyödyntäminen eivät ole lapsilla ja nuorilla suoritusta merkittävästi rajoitettava tekijä. Kahden ikävuoden jälkeen ATP -varastot ovat lapsilla ja aikuisilla samankokoiset. FK -varastot ovat lapsilla alhaisemmat verrattuna aikuisiin ja murrosikäisiin. Toisaalta on arveltu, että lapset kykenisivät uudelleen syntetisoimaan FK -varastot huomattavasti aikuisia nopeammin. (Faigenbaum ym. 2020, 19-42)

Nopeusharjoitteet voivat painottua eri tyyppisiin nopeussuorituksiin matkan ja suorituksen kestön perusteella. Harjoittelua voi kohdentaa ensimmäisiin askeliin, kiihdytykseen tai maksiminopeuteen. (Rumpf ym. 2012) Lineaarinopeuden lisäksi erityisesti joukkuelajien nopeusharjoitteluun kuuluvat suunnanmuutosnopeus- ja ketteryysharjoitteet (Buchheit ym. 2010b; Vuong ym. 2022) Muita nopeuden kehittämiseksi käytettyjä menetelmiä ovat erilaiset tekniikka- ja koordinaatioharjoitteet (Venturelli ym. 2008) sekä vastus-, ylämäki- ja ylivauhtiset vedot kuten alamäkijuoksut, joista ylivauhtiset vedot ovat nuorilla vähiten käytetty menetelmä (Rumpf ym. 2012).

Prepuberteetti-ikäisten on havaittu olevan responsiivisia nopeusharjoittelulle, vaikka ei yhtä suurena määrin kuin postpuberteetti-ikäisten (Rumpf ym. 2012). 1-2 kertaa viikossa toteutettu

nopeusharjoittelu vaikuttaisi olevan sopiva annos-vastesuhde nuoremmille urheilijoille ja aloittelijoille nopeuden kehittämiseksi. Moran ym. (2018) tutkimuksessa kerran viikossa toteutettu nopeusharjoitus sai aikaan harjoitusvasteita prepuberteetti-ikäisillä pelaajilla. Mainittakoon, että tutkimuksen aikana pelaajat toteuttivat harjoitusrutiineinaan nopeusharjoittelun lisäksi voima- ja plyometristä harjoittelua. Plyometrinen harjoittelu tarkoittaa harjoittelua, missä hyödynnetään venymislyhenemis-sykliä, mikä monesti on käytännössä hyppyjä ja ponnistuksia sisältävää harjoittelua (Turner & Jeffreys 2010). Kotzamanidisin (2003) tutkimuksessa ei-urheiluvilla 11-vuotiailla pojilla nopeusominaisuudet kehittyivät kahdesti viikossa toteutetulla nopeusharjoittelulla. Intervention aikana kokonaismäärä kasvoi harjoituksen sisällä 150 m 300 m:iin 10 viikon aikana.

Harjoitustaustan karttuessa nopeusharjoittelun määrää on mahdollista lisätä 2-3 kertaan viikossa. Buchheitin ym. (2010b) tutkimuksessa postpuberteetti-ikäisillä pelaajilla positiivisia harjoitusvasteita saatiin aikaan kahdesti viikossa toteutetulla nopeus- ja ketteryusharjoittelulla. Interventio sisälsi 3-4 \* 5-6 alle 5 s kestoista nopeus- ja ketteryusharjoitetta. Moran ym. (2017) meta-analyysin mukaan nopeusharjoittelua 2 kertaa viikossa saattaa olla monessa tapauksessa jopa vaikuttavampaa kuin 3 kertaa viikossa toteutettu nopeusharjoittelu. Nuorilla pelaajilla palautukseksi toistojen välillä riittää 1:25, mikä käytännössä tarkoittaa 2 sekunnin suorituksen jälkeen 50 s kestoista palautusta.

Monet nuorilla toteutetuista harjoitusinterventioista ovat voima- tai yhdistelmäharjoitteluinterventioita ja sisältävät harvemmin ainoastaan nopeusharjoittelua (Rumpf ym. 2012). Käytetyt harjoitusmenetelmät vaihtelevat laajasti oman kehon painoilla toteutetusta harjoittelusta lisäkuormiin sekä erilaisiin hyppyihin, ponnistuksiin ja kuntopallon heittoihin. Olennaisinta harjoittelussa on suhteuttaa erityisesti käytetyt lisäkuormat nuoren kokoon ja harjoitustaustaan nähden sopiviksi. (Lloyd ym. 2014b)

Faigenbaumin ym. (1999) tutkimuksessa kahdesti viikossa 8 viikon ajan toteutettu voimaharjoittelu sai aikaan maksimi- sekä kestovoimaominaisuuksien kehittymistä 5.8-11.8-vuotiailla tytöillä ja pojilla. Kohtalaisilla kuormilla ja suuremmalla toistomäärällä (1 \* 13-15) toteutettu voimaharjoittelu kehitti enemmän tutkittavien voimaominaisuuksia verrattuna raskailla kuormilla ja kohtalaisilla toistomäärillä (1 \* 6-8) toteutettuun harjoitteluun. Johtopäätöksenä oli, että harjoituksen volyyymi vaikutti vasteisiin enemmän kuin harjoituksen intensiteetti. Tämä

poikkeaa aikuisten ja harjoittelussa edistyneiden urheilijoiden voimatasojen kehittämisen periaatteista, joilla maksimivoiman kehittämiseksi on suositeltavaa käyttää suurempaa harjoittelun intensiteettiä kuin määrää ( $> 80 \% 1 \text{ RM}$ ). (Hartmann ym. 2015)

Voimaharjoittelun on havaittu vaikuttavan etenkin murrosiän jälkeen positiivisesti nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksiin (Rumpf ym. 2012). Chellyn ym. (2009) tutkimuksessa kahdesti viikossa ennen lajiharjoitusta raskaammilla kuormilla toteutettu voimaharjoittelu kehitti 17-vuotiailla pelaajilla maksimi- ja nopeusvoimaominaisuuksia sekä ensimmäisten askelten nopeutta. Harjoitus piti sisällään 2-4 toistoa  $80-90 \%$  kuormilla yhden toiston maksimista ( $1 \text{ RM}$ ). Lloydin ym. (2016) tutkimuksessa vertailtiin kolmen erilaisen harjoitusintervention vaikuttavuutta pre- ja postpuberteetti-ikäisten nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksiin. Harjoituksia oli kaksi kertaa viikossa. Harjoitusinterventiot olivat 1) plyometria ( $5 * 2-5 * 3-10$  ponnistusta), 2) voimaharjoitus lisäpainoilla ( $4 * 3 * 10$ ) ja 3) yhdistelmäharjoitus plyometristä ja lisäpainoharjoittelua (plyometria  $2 * 3-3 * 3-10$  ja lisäpainoharjoitteet  $2 * 3 * 10$ ). Harjoitusinterventioista prepuberteetti-ikäiset hyötyivät eniten plyometrisestä harjoittelusta, kun puolestaan postpuberteetti-ikäiset saavuttivat merkittävimmät vasteet yhdistelmäharjoittelulla. Jokaisella kolmella harjoitusinterventiolla saavutettiin kehitystä pre- ja postpuberteettiryhmillä vasteiden kohdentuen hieman eri tavoin. Esimerkiksi 10 m kiihdytysnopeus kehittyi prepuberteetti-ikäisillä kaikilla kolmella harjoitusmenetelmällä, mutta postpuberteetti-ikäisillä ainoastaan kahdella lisäpainoharjoittelua sisältäneellä harjoitusinterventiolla. 20 m nopeus kehittyi molemmilla ryhmillä yhdistelmä- ja plyometrisellä harjoittelulla, mutta ei lisäpainoharjoittelulla.

Nopeus- ja voimaominaisuuksien kehittyminen on seurausta hermoston ja lihaksiston sopeutumisesta harjoitteluun. Ennen murrosikää harjoitusvasteet ovat todennäköisesti seurausta enimmäkseen hermoston adaptaatioista ja murrosiässä sekä murrosiän jälkeen vasteita tapahtuu enemmän jo lihaksistossa. Ainoastaan jänteissä saattaa tapahtua harjoittelun vaikutuksesta muutoksia prepuberteetti-ikäisillä. (Faigenbaum 2020, 19-42) Mahdollisia hermostollisia vasteita ovat 1) motoristen yksiköiden parempi rekrytointi, jolloin motoriset yksiköt on mahdollista saada entistä paremmin käyttöön suorituksen aikana, 2) parantunut lihasten välinen ja sisäinen koordinaatio, mikä näkyy suorituksessa vaikuttaja- ja vastavaikuttajalihasten aktivoitumisen parempana ajoituksena, jolloin myös suorituksen kokonaisvoimantuotto lisääntyy sekä 3) motoristen yksiköiden syttymisfrekvenssin ja 4) refleksitoiminnan parantuminen. (Cormie ym. 2011).

## 5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, KYSYMYKSET JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli verrata nopeus- ja voimaominaisuuksien ilmenemistä ennen ja jälkeen murrosiän olevilla pelaajilla sekä tarkastella antropometristen ja fyysisten ominaisuuksien mahdollista vaikutusta nopeus- ja voimasuorituksiin eri biologisen kasvun ja kehityksen vaiheessa olevilla pelaajilla.

Erityisesti prepuberteetti-ikäisten kohdalla on vain rajallisesti tutkimustietoa saatavilla nopeusominaisuuksiin vaikuttavista taustamuuttujista lajikontekstiin asetettuna. Yksittäiseen yksinkertaiseenkin ominaisuuteen vaikuttavat useat eri muuttujat, harjoitusvasteiden kuitenkin eroten ennen ja jälkeen murrosiän. Tämä kuvastaa tarvetta selvittää ominaisuuksien väliset yhteydet ja syy-seuraussuhteet. Samoin on perusteltua tarkastella eri menetelmiä harjoittelun vaikutavuuden seuraamiseksi eri biologisen kasvun ja kehityksen vaiheessa olevilla pelaajilla.

*Tutkimuskysymykset ja hypoteesit:*

Tutkimuskysymys 1. Onko antropometrisilla ominaisuuksilla yhteyttä pelaajan nopeus- ja voimaominaisuuksiin?

Hypoteesi 1. Kyllä. Antropometriset muuttujat voivat vaikuttaa nopeus- ja voimaominaisuuksiin pre- ja postpuberteetti-ikäisillä pelaajilla. Meyrsin ym. (2017a) analyysin mukaan pituuden on havaittu vaikuttavan prepuberteetti-ikäisten juoksunopeuteen. Kehon eri osat myös kasvavat biologisen kasvun ja kehityksen aikana eri tahtiin ja mittasuhteet muuttuvat (Round ym. 1999), millä saattaa olla vaikutusta fyysiseen suorituskyykyyn (Meylan ym. 2014b). Lloydin ym. (2011) tutkimuksessa lapsilla ja nuorilla paino selitti 62 % absoluuttisesta jalkojen jäykkyyden vaihtelusta, mikä oli yhteydessä tutkittavien reaktiiviseen voimantuottoon. Antropometristen muuttujien vaikutus fyysisiin ominaisuuksiin heikkeni, kun arvoja tarkasteltiin suhteellisina.

Tutkimuskysymys 2. Voidaanko ennen ja jälkeen murrosiän olevilla pelaajilla havaita voimaominaisuuksien yhteys nopeusominaisuuksiin?

Hypoteesi 2. Kyllä. Voimaominaisuudet ovat kiinteässä yhteydessä nopeusominaisuuksiin biologisen kasvun ja kehityksen vaiheesta riippumatta. Meylan ym. (2014b) tutkimuksessa havait-

tiin maksimivoiman ja tehontuoton yhteys lineaarinopeuteen eri biologisen kasvun ja kehityksen vaiheesta olevilla tutkittavilla. Vastaavasti eri voima- ja nopeusominaisuuksien välillä on havaittu olevan siirtovaikutus pre- ja postpuberteetti-ikäisillä (Lloyd ym. 2016). Vaikutuksen suuruudessa on mahdollisesti havaittavissa eroja ennen ja jälkeen murrosiän (Rumpf ym. 2012).

Tutkimuskysymys 3. Eroavatko voimaominaisuudet ennen ja jälkeen murrosiän olevilla pelaajilla?

Hypoteesi 3. Kyllä. Voimaominaisuudet kehittyvät biologisen kasvun ja kehityksen vaikutuksesta (Philippaertsi ym. 2006) postpuberteetti-ikäisten omaten korkeamman suorituskyvyn nopeus- ja maksimivoimaominaisuuksissa. Meylanin ym. (2014b) tutkimuksessa maksimi- ja nopeusvoimaominaisuudet erosivat ryhmien välillä postpuberteetti-ikäisten omaten paremmat nopeus- ja maksimivoimaominaisuudet verrattuna prepuberteetti-ikäisiin.

Tutkimuskysymys 4. Eroavatko nopeusominaisuudet ennen ja jälkeen murrosiän olevilla pelaajilla?

Hypoteesi: Kyllä. Kuten voimaominaisuudet, myös nopeusominaisuudet kehittyvät biologisen kasvun ja kehityksen vaikutuksesta (Philippaertsi ym. 2006) postpuberteetti-ikäisten omaten korkeamman suorituskyvyn nopeusominaisuuksissa verrattuna prepuberteetti-ikäisiin (Buchheit ym. 2010a; Meylan ym. 2014b).

## 6 MENETELMÄT

### 6.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat alkavana vuonna 12- ja 16-vuotta täyttäviä jalkapalloa kilpatasolla harrastavia poikajunioripelaajia. Pelaajilla oli jalkapalloharjoituksia keskimäärin 4-5 kertaa viikossa sisältäen lajiharjoituksia, fyysisiä ominaisuusharjoitusosioita lajiharjoitusten yhteydessä sekä kerran viikossa fyysinen ominaisuusharjoitus omana erillisenä harjoituksenaan. Harjoitusten lisäksi tutkittavilla oli peli- tai turnaustapahtuma keskimäärin kerran viikossa. Tutkimukseen myönnettiin hyväksyvä lausunto Jyväskylän yliopiston eettisestä toimikunnasta.

Tutkittavat rekrytoitiin Eerikkilän urheiluopistolla toimineen Sami Hyypiä Akatemian kautta. Tutkimukseen osallistumisen kriteerinä oli vähintään kaksi vuotta säännöllistä jalkapalloharjoittelua ja tutkittavien tuli kuulua ikäluokkiin P12 ja P16. Tutkimukseen rekrytoitiin yhteensä 38 pelaajaa. Tutkimuksen analyyseistä ulkopuolelle jäivät maalivahti ( $n = 1$ ), pelaajat, joilta ei mitattu liikedataa tutkimusmittauksen otteluista ( $n = 18$ ) sekä pelaajat, joilla polvikulma jäi liian suureksi isometrisessä jalkaprässissä ( $n = 3$ ).

Tutkittavat jaettiin biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen mukaan kahteen ryhmään: prepuberteettiryhmä (PRE-P) eli tutkittavat ennen murrosikää ( $11.5 \pm 0.1$  vuotta,  $n = 8$ ) ja postpuberteettiryhmä (POST-P) eli tutkittavat murrosiän jälkeen ( $15.7 \pm 0.4$  vuotta,  $n = 8$ ). Biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen määrittelyssä käytettiin etäisyyttä pituuskasvun huipusta vuosina. Prepuberteettiryhmän kriteerinä oli vähintään -1.0 vuotta oletetusta pituuskasvun huipusta ja postpuberteettiryhmän kriteerinä vähintään +1.0 vuotta oletetusta pituuskasvun huipusta. (Buchheit & Mendez-Villanueva 2013) Tutkittavien tiedot on esitetty taulukossa 2.

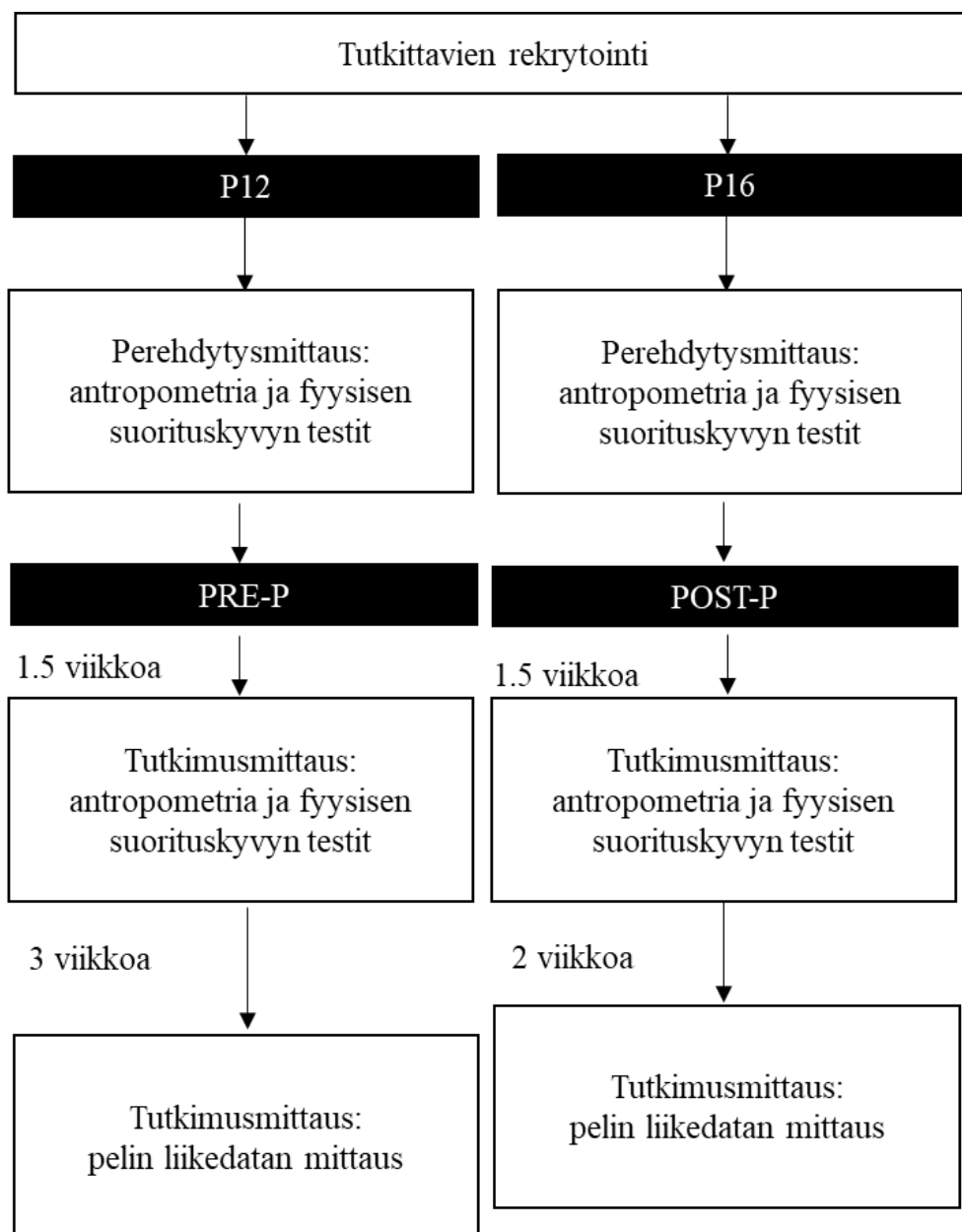
TAULUKKO 2. Tutkittavien tiedot.

	Ikä (v)	Etäisyys pituuskasvun huipusta (v)	Pituus (cm)	Paino (Kg)
PRE-P ( $n = 8$ )	$11.5 \pm 0.3$	$-2.0 \pm 0.1$	$151.0 \pm 2.8$	$37.9 \pm 2.5$
POST-P ( $n = 8$ )	$15.7 \pm 0.4$	$+2.1 \pm 0.4$	$179.7 \pm 5.0$	$67.4 \pm 7.4$

PRE-P = prepuberteettiryhmä ja POST-P = postpuberteettiryhmä.

## 6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin poikittaistutkimuksena (kuva 5). Tutkimukseen sisältyi tutkittavien rekrytointi, perehdytysmittaus sisältäen antropometriset mittaukset ja fyysisen suorituskyvyn testit sekä tutkimusmittaus sisältäen vastaavat mittaukset kuin perehdytysmittauksessa. Tämän lisäksi tutkittavilta mitattiin pelistä liike- ja nopeusdata. Perehdytys- ja tutkimusmittauksen välillä oli 1.5 viikkoa etäisyyttä. Antropometristen, fyysisten suorituskykytestien ja ottelumittauksen välillä oli eroa 2 viikkoa postpuberteettiryhmällä ja 3 viikkoa prepuberteettiryhmällä. Ennen perehdytysmittauksia tutkittavilta kerättiin lupa- ja esitietolomakkeet.



KUVA 5. Tutkimusasetelma.



### **6.3 Fyysiset suorituskykytestit ja mitatut muuttujat**

Mittaukseen valmistautumisena tutkittavia ohjeistettiin liikkumaan ainoastaan kevyesti 24 h ennen mittausta. Mittaukset tapahtuivat aamulla klo 8:30 alkaen ja päättyivät viimeistään klo 13:15. Mittausten suorittamiseen kului yhdeltä tutkittavalta enimmillään 2.5 h. Mittaukset tapahtuivat järjestyksessä antropometria, vertikaaliset hyppytestit, suunnanmuutosnopeus, lineaarinen nopeus ja isometrinen maksimivoima. Kaikki mittaukset toteutettiin sisätilassa.

Antropometria mitattiin yöpaaston jälkeen klo 8:30-9:30 välisenä aikana. Tutkittavilla oli lupa juoda ainoastaan 1.5 dl nestettä aamulla ennen tutkimukseen saapumista. Tällä pyrittiin varmistamaan tutkimuksen miellyttävyys kohderyhmälle ja nestetasapaino ennen fyysisen suorituskyvyn testejä varmistaen kuitenkin mittaustarkkuus antropometrisissa mittauksissa. Antropometrinen mittausten jälkeen tutkittavat söivät aamupalan (mehu, puro ja banaani). Aamupalan jälkeen tutkittavat suorittivat alkulämmittelyn sekä fyysisen suorituskyvyn testit.

Alkulämmittely sisälsi aerobisen osion kevyesti hölkäten 5 min sekä dynaamisina liikkeinä askelkyky paikallaan, askelkyky sivulle, etureiden venytys nilkasta kiinni pitäen ja kurotus alas sekä pohkeiden venytys etunojapunnerruksen asennossa vieden vuorotahtiin kantapäätä kohti alustaa ja irti alustasta. Dynaamisia liikkeitä tehtiin kaksi kierrosta ja 5 toistoa vasemmalle sekä oikealle puolelle liikettä kohden. Alkulämmittely kesti 10-15 min. Fyysiset suorituskykytestit toteutettiin juoksuradalla. Jalkineina tutkittavat käyttivät lenkkikenkiä. Muuna varustuksena tutkittavilla oli t-paita ja shortsit.

#### **6.3.1 Antropometria, kehitysvaihe ja painopituus-suhde**

Antropometrisissa mittauksissa tutkittavilta mitattiin seisomapituus, istumapituus ja paino. Antropometrisia muuttujia käytettiin biologisen iän ja fyysisen kehitysvaiheen sekä painopituus-suhteen määrittämiseen. Tutkittavat suorittivat antropometriset mittaukset ilman kenkiä, päällään t-paita ja shortsit. Tutkittavilta mitattiin ensin pituus seinämittaa käyttäen 0.1 cm tarkkuudella. Mittauksen aikana tutkittava seiso selkään seinää vasten, jalat yhdessä, kantapäät seinässä kiinni, kädet sivuilla ja pään ollessa neutraalissa asennossa. Mitta vedettiin suorassa linjassa pääläelle. Mittaus suoritettiin kaksi kertaa. Mikäli kahden mittauksen välinen erotus oli

yli 4 mm suoritettiin mittausta kolmannen kerran. Istumapituus mitattiin vastaavasti kuin seisomapituus, mutta tutkittavan istuessa jakkaralla. Kehon paino mitattiin henkilöva'alla. Painon mittausta toistettiin kahdesti. Mikäli kahden mittauksen välinen erotus oli yli 0.4 kg toistettiin mittausta kolmannen kerran. Antropometristen mittausten tuloksissa käytettiin kahden lähempänä toisiaan olevan mittauksen välistä keskiarvoa. Mittaukset toteutettiin kovalla ja tasaisella alustalla.

Tutkittavan biologinen ikä ja fyysinen kehitysvaihe määriteltiin arvioimalla etäisyys vuosissa pituuskasvun huipusta. Arvioinnissa käytettiin Mirwaldin ym. (2002) julkaisemaa ennusteyhtälöä. Muuttujat olivat jalkojen pituus, mikä laskettiin seisomapituuden ja istumapituuden erotuksena, istumapituus, tutkittavan ikä mittaushetkellä, tutkittavan paino sekä seisomapituus. Ohessa on poikien fyysisen kehitysvaiheen arviointiin käytetty kaava:

$$\text{Etäisyys pituuskasvun huipusta} = -9.236 + (0.0002708 * (\text{jalkojen pituus} * \text{istumapituus}) - (0.001663 * (\text{ikä} * \text{jalkojen pituus}) + (0.007216 * (\text{ikä} * \text{istumapituus}))) + (0.02292 * (\text{kehon paino/pituus} * 100))$$

Painopituus-suhde määriteltiin painoindeksinä eli paino jaettuna pituuden neliöllä. Biologista ikää ja fyysistä kehitysvaihetta käytettiin tutkimuksen vertailuryhmien määrittelyyn ja pituutta, painoa sekä painopituus-suhdetta tulosten jatkoanalyysissä.

### 6.3.2 Vertikaalisuuntaiset hyppytestit

Vertikaalisuuntaisina hyppytesteinä toteutettiin staattinen hyppy, kevennyshyppy sekä reaktiivisuushyppytesti. Ennen testin aloitusta suoritukset ohjeistettiin tutkittaville. Suoritusta sai harjoitella 1-2 kertaa. Vertikaalisuuntaisten hyppyjen mittaukseen käytettiin kontaktimattoa (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi).

Staattisen hypyn sekä kevennyshypyn muuttujina käytettiin hyppykorkeutta, absoluuttista tehoa sekä kehon painoon suhteutettua tehoa. Hyppykorkeus laskettiin gravitaation ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) ja hypyn lentoajan perusteella seuraavalla kaavalla (Lloyd ym. 2009):

$$\text{Hyppykorkeus} = (9.81 * (\text{lentoaika})^2) / 8$$

Absoluuttinen teho laskettiin Amonetten ym. (2012) validoimalla kaavalla:

$$PP (W) = 63.63 * \text{hyppykorkeus (cm)} + 42.73 * \text{kehon paino (kg)} - 1846.5$$

Staattisen hypyn aloitus tapahtui paikaltaan kyykkyasennosta polvikulman ollessa 90° tutkittavien oman arvion mukaan. Tutkittavan kädet olivat vyötäröllä, jalat lantion-hartioiden leveydellä sekä katse eteenpäin. Kädet eivät saaneet irrota vyötäröltä suorituksen aikana. Tutkittavan tuli odottaa paikallaan aloitusasennossa ~ 3 s. Tutkittava sai aloittaa suorituksen tutkijan merkistä. Suoritus tapahtui molemmilla jaloilla ylöspäin ponnistaen ilman esikevennystä. Tutkittavalle korostettiin hyppäämään mahdollisimman korkealle ylöspäin Alastulo tapahtui suorille jaloille päkiäkontaktille. Ponnistuksen tuli suuntautua suoraan ylöspäin. Jalkoja ei saanut vetää hypyn aikana koukkuun, viedä eteen- tai taaksepäin. Suoritusta ei hyväksytty, mikäli ponnistus suuntautui eteen-, sivulle- tai taaksepäin vaan alastulon oli tapahduttava lähelle ponnistuksen aloituskohtaa. Mittauksessa tutkittavat suorittivat kolme maksimaalista staattista hyppyä. Tutkittava teki suoritukset lähes peräkkäin valmistautuen aina seuraavaan suoritukseen. Mikäli jokin kolmesta suorituksesta ei onnistunut suoritusteknisesti, tutkittava sai tehdä suorituksen uudestaan. Tulos mitattiin 0.1 cm tarkkuudella. Tulosten analysointiin otettiin kahden parhaan tuloksen keskiarvo.

Staattisen ja kevennyshyppytestin välissä pidettiin pidempi 4 min palautus. Kevennyshypyn aloitus tapahtui tutkittavan seistessä pystyasennossa, jalat lantio-hartioiden leveydellä ja kädet vyötäröllä. Kädet eivät saaneet irrota vyötäröltä suorituksen aikana. Aloitusasennosta tutkittava meni ensin kyykkyyn 90° polvikulmaan tutkittavan oman arvion mukaisesti, jonka jälkeen tutkittava ponnisti suoraan ylöspäin. Alastulo tapahtui suorille jaloille päkiäkontaktille. Jalkoja ei saanut vetää hypyn aikana koukkuun, viedä eteen- tai taaksepäin. Suoritusta ei myöskään hyväksytty, mikäli ponnistus suuntautui eteen-, sivulle- tai taaksepäin vaan alastulon oli tapahduttava lähelle ponnistuksen aloituskohtaa. Mittauksessa tutkittavat suorittivat kolme maksimaalista kevennyshyppyä. Tutkittavaa korostettiin tekemään suorituksen alasmenovaihe nopeasti ja hyppäämään mahdollisimman korkealle ylöspäin. Mikäli jokin kolmesta suorituksesta ei onnistunut suoritusteknisesti, tutkittava sai tehdä suorituksen uudestaan. Tulos mitattiin 0.1 cm tarkkuudella. Tulosten analysointiin otettiin kahden parhaan tuloksen keskiarvo.

Reaktiivisuushyppy toteutettiin kevennyshyppytestin jälkeen 4 min palautuksella. Reaktiivisuushyppynä toteutettiin 6 jatkuvaa päkiällä suoriin jaloin tapahtuvaa ponnistusta ylöspäin

eli yksi hyppysarja sisälsi yhteensä 6 ponnistusta. Kädet saivat rytmittää liikettä vapaasti. Tutkittavat tekivät reaktiivisuushyppytestin ensimmäisen sarjan submaksimaalisena ja seuraavat kaksi sarjaa maksimaalisena. Sarjojen välissä oli palautusta 3-4 min. Tutkittavalle korostettiin pitämään kontaktiaika lyhytkestoisena ja hypyn korkeus mahdollisimman suurena. Muuttujat olivat hyppykorkeus ja kontaktiaika 4 hypyn keskiarvona laskettuna. Sarjan ensimmäistä ja viimeistä toistoa ei huomioitu tuloksissa. Hyppykorkeudessa tulos mitattiin mm ja kontaktiaika ms. Hyppykorkeus mitattiin hypyn lentoajan perusteella kuten staattisessa ja kevennyshyppytesteissä. Reaktiivisuushyppyjen kolmantena muuttujana käytettiin reaktiivisen voiman indeksiä. Reaktiivisen voiman indeksi laskettiin jakamalla hyppykorkeus kontaktiajalla (Lloyd ym. 2011):

$$RSI = \text{hyppykorkeus (mm)} / \text{kontaktiaika (ms)}$$

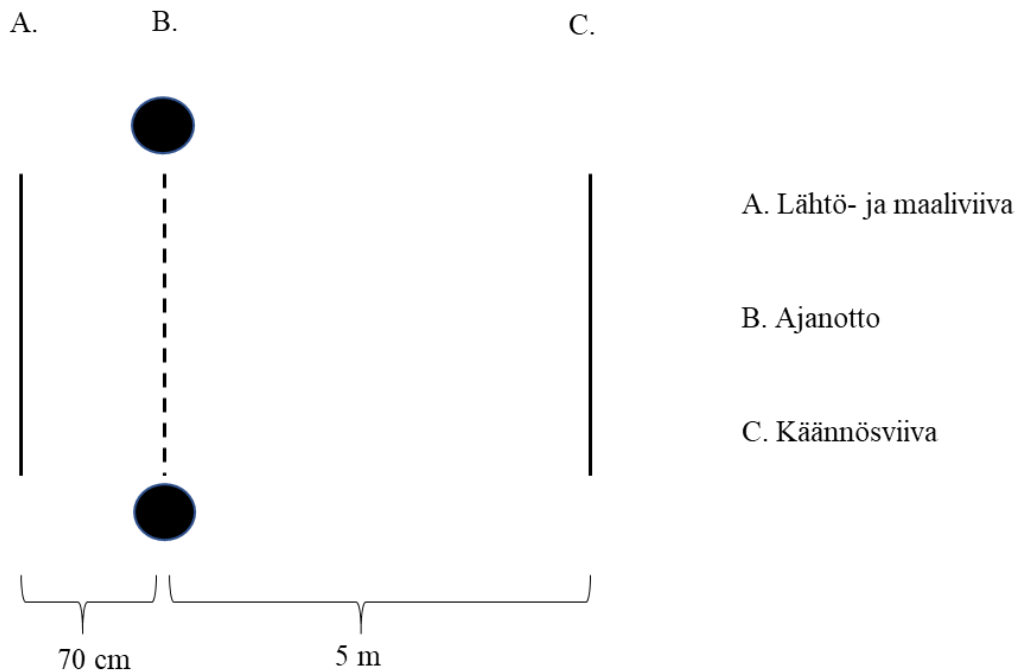
Analyysiin otettiin mukaan kahden parhaan tuloksen keskiarvo hyppykorkeudesta, kontaktiajasta ja reaktiivisen voiman indeksistä.

### 6.3.3 Suunnanmuutosnopeus ja suunnanmuutosvaje

Suunnanmuutosnopeuden testinä toteutettiin suunnanmuutos 180° käänöksellä 5 m + 5 m matkalta. Suunnanmuutosnopeustesti toteutettiin juoksuradalla. Ajanotto tapahtui optisilla valokennoilla (kustomoitu Newtest ja Casio, Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi). Ajanotokenno oli 60 cm korkeudella. Ajanotokennot pyrittiin asettamaan lähelle tutkittavien kehon massakeskipistettä, jolloin ajanotto tapahtui mahdollisimman tarkasti koko vartalosta. Kennot asetettiin vastakkain radan molemmille puolille ~ 3 m etäisyydelle toisistaan.

Tutkittava lähti paikaltaan, ilman heijautusta, pystylähdöllä toinen jalka edessä ja toinen takana polvet hieman koukussa. Lähtö tapahtui 70 cm valokennon takaa etummaisien jalan varpaat merkkiviivan reunassa. Tutkittava juoksi ensin 5 m käänösviivalle molempien jalkojen astuen viivan yli, kääntyi 180° ja juoksi 5 m takaisin ohittaen valokennon. Tutkittava suoritti aluksi submaksimaaliset suoritukset ensin vasemman kautta kääntyen ja tämän jälkeen oikean kautta kääntyen. Submaksimaalisten suoritusten jälkeen tutkittava teki kaksi maksimaalista suoritusta vasemman kautta kääntyen ja kaksi maksimaalista suoritusta oikean kautta kääntyen. Suorituksesta mitattiin aika 0.01 s tarkkuudella. Suoritusten välissä oli palautusta 3 min. Mikäli jokin

suorituksista ei onnistunut, tutkittava sai tehdä suorituksen uudestaan. Analyysiin otettiin mukaan kahden parhaan suorituksen keskiarvo vasemman ja oikean puolen käännöksistä. Mittausasetelma on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Suunnanmuutosnopeustestin mittausasetelma.

Suunnanmuutosnopeustestin tulosta käytettiin suunnanmuutosvajeen laskemiseen, mikä tarkoittaa käännökseen kuluneen ajan arviointia. Menetelmässä käännökseen kulunut aika arvioidaan vähentämällä suunnanmuutosnopeussuorituksesta mitatusta ajasta vastaavan pituiselta matkalta mitatun lineaarinopeuden aika (Nimphius ym. 2016):

$$\text{Suunnanmuutosvaje} = \text{suunnanmuutosnopeus } (s) - \text{lineaarinopeus } (s)$$

Suunnanmuutosvaje mitattiin molemmista vasemman ja oikean puolen käännöksistä vähentämällä suoritukseen kuluneesta ajasta 10 m lineaarinopeuden aika.

### 6.3.4 Kiihdytys ja maksiminopeus

Lineaarinopeutena mitattiin aika 40 m matkalta. Ajanottolaitteina käytettiin vastaava kalustoa ja alustaa kuin suunnanmuutosnopeutta mitattaessa. Ensimmäinen ajanottokenno-pari oli 60 cm

korkeudella ja seuraavat 80 cm korkeudella. Lähdössä kiihdytysasennossa kehon massakeskipiste on matalammalla kuin myöhäisemmässä kiihdytyksessä ja maksimijuoksun vaiheessa. Nopeuden kasvaessa vartalon asento muuttuu pystymmäksi. Lähtöasento ja tutkittavan etäisyys ensimmäisestä ajanottokennosta oli vastaava kuin suunnanmuutosnopeutta mitattaessa.

Ensin tutkittava juoksi 40 m submaksimaalisella vauhdilla, jonka jälkeen tutkittava teki 2 maksimaalista suoritusta. Väliajat mitattiin 0-10 m, 10-20 m, 20-30 m ja 30-40 m matkoilta. Lopullisiin analyysihin otettiin kahden parhaan tuloksen keskiarvot 0-10 m väliajan, 30 m kokonaisajan sekä nopeimman väliajan osalta. Ensimmäistä 0-10 m väliaikaa käytettiin kiihdytysnopeuden mittaamiseen. Maksiminopeus mitattiin nopeimman väliajan keskinopeutena. 30 m nopeus on puolestaan jalkapalloilijoilla usein käytetty muuttuja lineaarinopeuden mittauksessa. Suoritusten välissä oli 3 min palautusta.

### **6.3.5 Isometrinen maksimivoima**

Isometrinen maksimivoima mitattiin jalkadynamometrillä (Liikuntabiologian laitos, Jyväskylä, Suomi) vaaka jalkaprässissä. Voimamittauksen signaali tallennettiin ja analysoitiin Signal 4.10-ohjelmalla (Cambridge Electronic Design Ltd, Cambridge, UK).

Mittaus toteutettiin bilateraalisesti 107° polvikulmalla ja 90° nilkkakulmalla. Nivelkulmien mittaukseen käytettiin goniometriä. Tutkittavan jalat olivat lantion-hartioiden leveydellä, pakarat kiinni penkissä, selkä kiinni selkänöjassa ja kädet sivuilla kahvoissa. Käsillä ei saanut auttaa suoritusta. Tutkittavaa ohjeistettiin tuottamaan voimaa mahdollisimman paljon ja mahdollisimman nopeasti jalkojen alla olevaa levyä vasten.

Tutkittava sai aloittaa ja lopettaa suorituksen tutkijan merkistä. Tutkittavat suorittivat 1-2 harjoitus suoritusta ja kolme maksimaalista suoritusta 2 min palautuksella. Mikäli jokin suorituksesta epäonnistui tai parani viimeisellä suorituksella huomattavasti, teki tutkittava uuden suorituksen. Muuttujina mitattiin isometrinen maksimivoima ja tutkittavan kehon painoon suhteutettu suhteellinen isometrinen maksimivoima. Analyysiin otettiin mukaan kahden parhaan tuloksen keskiarvo.

## 6.4 Pelistä mitattu huippunopeus

Pelistä mitatun huippunopeuden mittaamiseen käytettiin Polar Team Pro -järjestelmää (Polar Electro oy, Kempele, Suomi), mikä sisälsi mikrosysteemisen sensorin sisältäen eri komponentteja: GPS:n, kiihtyvyyssanturin, gyroskoopin, magnetometrin ja sydämen sykettä mittaavan sensorin. Lisäksi järjestelmään kuului telakka sensoreiden lataukseen ja tietojen tallennukseen sekä iPad. Sensori asetettiin sykevyön avulla pelaajan pallean kohdalle ihokontaktiin. Ennen vyön asettamista vyön keskikohta kasteltiin vedellä.

Prepuberteettiryhmällä pelissä saavutettu huippunopeus mitattiin kahdesta 20 min kestoisesta turnausottelusta. Analyysiin otettiin tarkasteluun kahdesta 20 min ottelusta mitattu huippunopeus keskiarvoistettuna. Postpuberteettiryhmällä pelissä saavutettu huippunopeus mitattiin yhdestä 90 min kestoisesta ottelusta. Analyysiin otettiin tarkasteluun kahdesta 45 min kestoisesta puoliajasta mitatut huippunopeudet keskiarvoistettuna. Postpuberteettiryhmä pelasi täysikokoisella ulkokentällä ja prepuberteettiryhmä vajaakokoisella sisähallikentällä. Postpuberteettiryhmä pelasi 11 vastaan 11 pelin käyttäen 4-2-3-1 muodostelmaa. Prepuberteettiryhmä pelasi 8 vastaan 8 pelin käyttäen 2-3-2 muodostelmaa.

## 6.5 Tilastolliset menetelmät

Tilastollisiin analyyseihin käytettiin SPSS-analyysi ohjelmaa (IBM SPSS Statistics 29.0, IBM Corporation, Armonk, NY, USA). Aineiston muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin Kolmogorov-Smirnov ja Shapiro-Wilk -testillä. Normaalijakautuneiden muuttujien kohdalla keskiarvojen vertailussa käytettiin riippumattomien otosten t-testiä sekä ryhmän sisäisten muuttujien vertailussa riippuvien otosten t-testiä.

Mikäli muuttuja ei ollut normaalijakautunut käytettiin keskiarvojen vertailuun ei-parametristä Mann-Whitney u-testiä. Muuttujien välisten mahdollisten yhteyksien mittaukseen käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Tämän jälkeen aineiston analyysissä käytettiin lineaarista regressioanalyysiä mittaamaan muuttujan vaikutuksen merkittävyyttä vastemuuttujaan.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Ryhmien väliset erot antropometriassa sekä nopeus- ja voimaominaisuuksissa

Pituus, paino sekä painopituus-suhde erosivat prepuberteettiryhmän (n = 8) ja postpuberteettiryhmän (n = 8) välillä (taulukko 3).

TAULUKKO 3. Ryhmien väliset erot ja keskiarvot antropometrisissa ominaisuuksissa.

	PRE-P	POST-P
Pituus (cm) **	151.0 ± 2.8	179.7 ± 5.0
Paino (kg) **	37.9 ± 2.5	67.4 ± 7.4
Painopituus-suhde (kg/m <sup>2</sup> ) **	16.6 ± 1.2	20.9 ± 1.9

PRE-P = prepuberteettiryhmä, POST-P = postpuberteettiryhmä, \* = tilastollisesti merkitsevä ero pre- ja postpuberteettiryhmän välillä, \* p < 0.05, \*\* p < 0.001.

Ryhmät erosivat toisistaan lähes kaikissa vertikaalisista hyppytesteistä mitatuissa muuttujissa. Ainoastaan reaktiivisuushypyn kontakti ajassa ei havaittu eroa ryhmien välillä. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Ryhmien väliset erot ja keskiarvot nopeusvoimaominaisuuksissa.

	PRE-P	POST-P
SH (cm) *	25.9 ± 4.0	33.3 ± 2.7
SHabs (W) **	1418 ± 273	3106 ± 307
SHsuht (W/kg) *	38 ± 7	46 ± 3
KH (cm)*	27.6 ± 4.7	35.6 ± 3.5
KHabs (W) **	1527 ± 272	3291 ± 267
KHsuht (W/kg) *	40 ± 8	49 ± 4
RH (mm) *	231 ± 35	314 ± 56
RHkont (ms)	218 ± 24	199 ± 10
RSI (mm/ms) **	1.1 ± 0.2	1.6 ± 0.2

SH = staattinen hyppy, SHabs = staattisen hypyn absoluuttinen teho, SHsuht = staattisen hypyn suhteellinen teho, KH = kevennyshyppy, KHabs = kevennyshypyn absoluuttinen teho, KHsuht = kevennyshypyn suhteellinen teho, RH = reaktiivisuushypyn korkeus, RHkont = reaktiivisuushypyn kontakti aika, RSI = reaktiivisen voiman indeksi, \* = tilastollisesti merkitsevä ero pre- ja postpuberteettiryhmän välillä, \* p < 0.05, \*\* p < 0.001.



Suunnanmuutosnopeus erosi pre- ja postpuberteettiryhmien välillä vasemman ja oikean puolen käännöksissä. Ryhmien sisäistä eroa käännösten välillä ei havaittu. Myöskään suunnanmuutosvajeessa ei havaittu ryhmien välillä tai ryhmien sisäistä eroa. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ryhmien väliset erot ja keskiarvot suunnanmuutosnopeudessa.

	PRE-P	POST-P
SMNvasen (s) **	3.2 ± 0.10	2.90 ± 0.13
SMNoikea (s) **	3.2 ± 0.20	2.92 ± 0.13
SMVvasen (s)	1.1 ± 0.10	1.04 ± 0.14
SMVoikea (s)	1.1 ± 0.10	1.05 ± 0.09

SMNvasen = suunnanmuutosnopeus vasemman puolen käännöksellä, SMNoikea = suunnanmuutosnopeus oikean puolen käännöksellä, SMVvasen = suunnanmuutosvaje vasemman puolen käännöksellä, SMVoikea = suunnanmuutosvaje oikean puolen käännöksellä, \* = tilastollisesti merkitsevä ero pre- ja postpuberteettiryhmän välillä, \* p < 0.05, \*\* p < 0.001.

Lineaarinopeudessa pre- ja postpuberteettiryhmät erosivat 10 m, 30 m ja maksiminopeuden osalta. Pelissä saavutetussa huippunopeudessa ei havaittu eroa ryhmien välillä. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Ryhmien väliset erot ja keskiarvot kiihdytys- ja maksiminopeudessa sekä pelissä saavutetussa huippunopeudessa.

	PRE-P	POST-P
10 m (s) **	2.12 ± 0.11	1.88 ± 0.09
30 m (s) **	5.25 ± 0.28	4.46 ± 0.19
MN (km/h) **	23.5 ± 1.3	29.0 ± 1.4
HN (km/h)	21.5 ± 0.8	24.1 ± 3.8

MN = maksiminopeus, HN= pelissä saavutettu huippunopeus, \* = tilastollisesti merkitsevä ero pre- ja postpuberteettiryhmän välillä, \* p < 0.05, \*\* p < 0.001.

Ryhmät erosivat toisistaan isometrisessä absoluuttisessa maksimivoimassa. Suhteellisessa maksimivoimassa ei havaittu eroa (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Ryhmien väliset erot ja keskiarvot isometrisessä absoluuttisessa ja suhteellisessa maksimivoimassa.

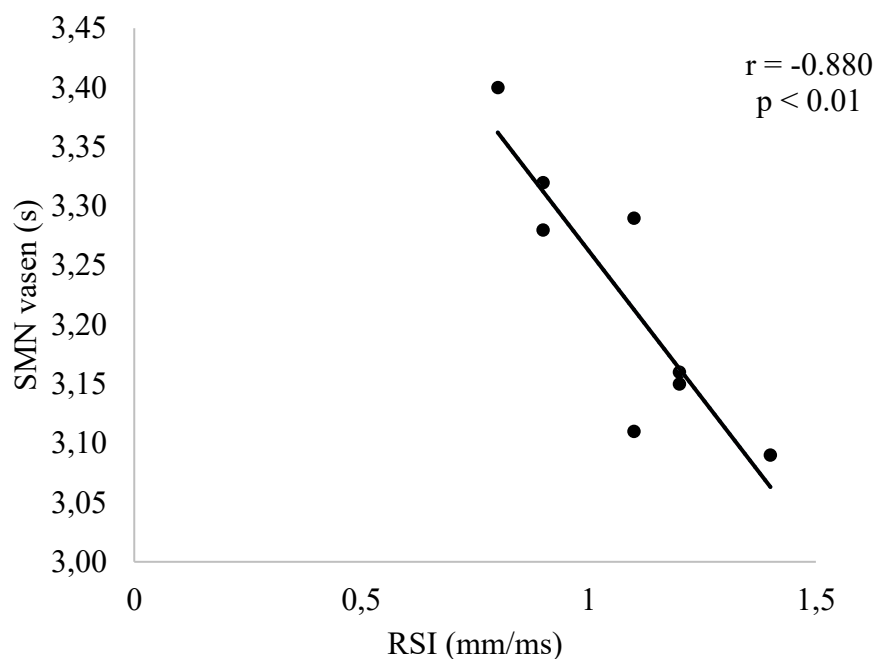
	PRE-P	POST-P
IMVabs (N) *	1054 ± 240	1714 ± 432
IMVsuht (N/kg)	27.8 ± 5.7	25.5 ± 5.8

IMVabs = isometrinen absoluuttinen maksimivoima, IMVsuht = isometrinen suhteellinen maksimivoima, \* = tilastollisesti merkitsevä ero pre- ja postpuberteettiryhmän välillä, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

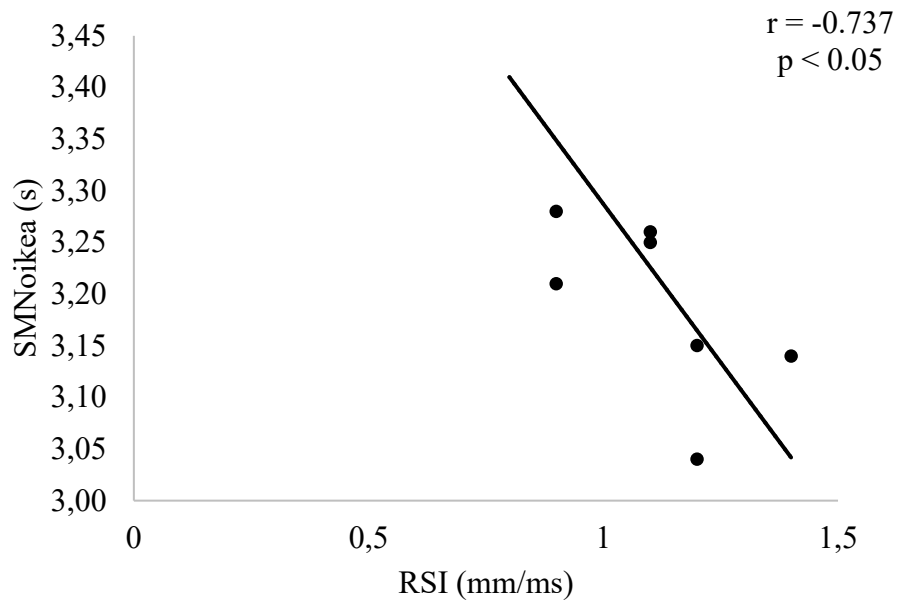
## 7.2 Antropometristen sekä nopeus- ja voimamuuttujien väliset yhteydet

Prepuberteettiryhmällä ei havaittu antropometristen muuttujien ja nopeus- tai voimamuuttujien välillä yhteyttä. Postpuberteettiryhmällä paino ja painopituus-suhde olivat yhteydessä staattisen hypyn absoluuttiseen tehoon ( $r = 0.866$ ,  $p < 0.01$  ja  $r = 0.716$ ,  $p < 0.05$ ). Samoin paino oli yhteydessä kevennyshypyn absoluuttiseen tehoon ( $r = 0.750$ ,  $p < 0.05$ ).

Prepuberteettiryhmällä nopeusvoimamuuttujista staattisen hypyn hyppykorkeus oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen oikean puolen käännöksellä toteutettuna ( $r = -0.734$ ,  $p < 0.05$ ). Reaktiivisen voiman indeksi oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen vasemman ja oikean puolen käännöksillä. Tulokset on esitetty kuvissa 7-8 reaktiivisen voiman ja suunnanmuutosnopeuden osalta. Postpuberteettiryhmällä ei havaittu nopeusvoimamuuttujien ja suunnanmuutosnopeuden välillä yhteyttä. Kummankaan ryhmän osalta nopeusvoimamuuttujat eivät olleet yhteydessä pelissä saavutettuun huippunopeuteen.

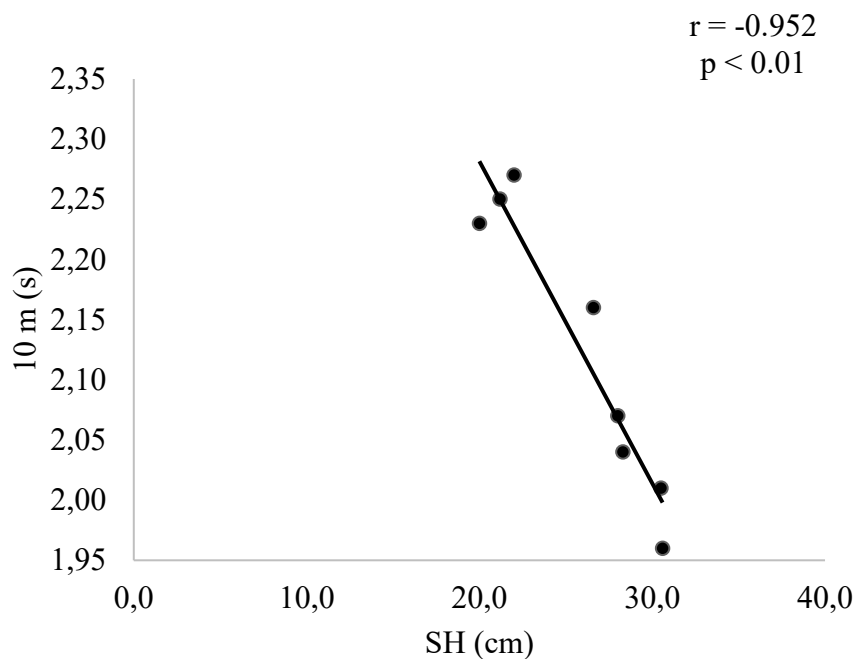


KUVA 7. Reaktiivisen voiman yhteys suunnanmuutosnopeuteen vasemman puolen käännöksellä prepuberteettiryhmällä.

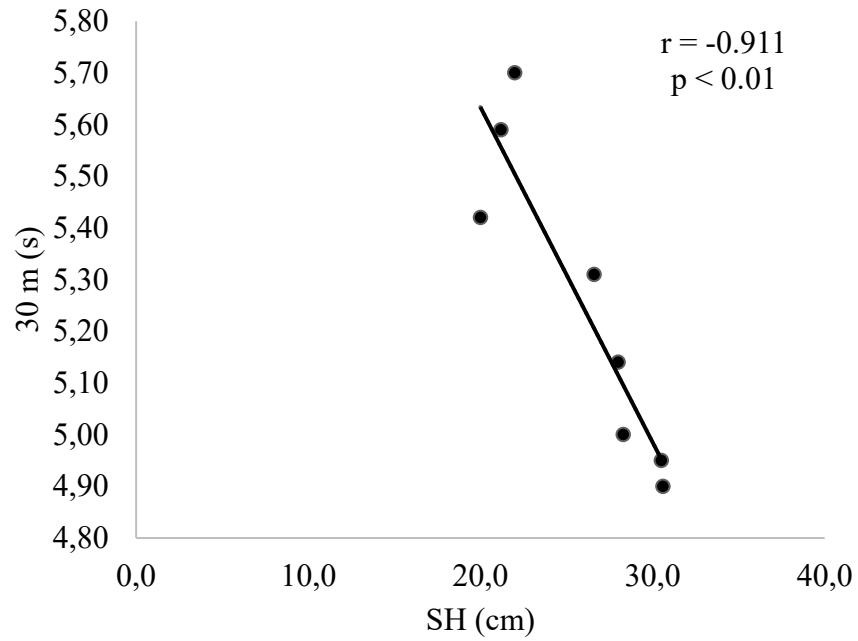


KUVA 8. Reaktiivisen voiman yhteys suunnanmuutosnopeuteen oikean puolen käännöksellä prepuberteettiryhmällä.

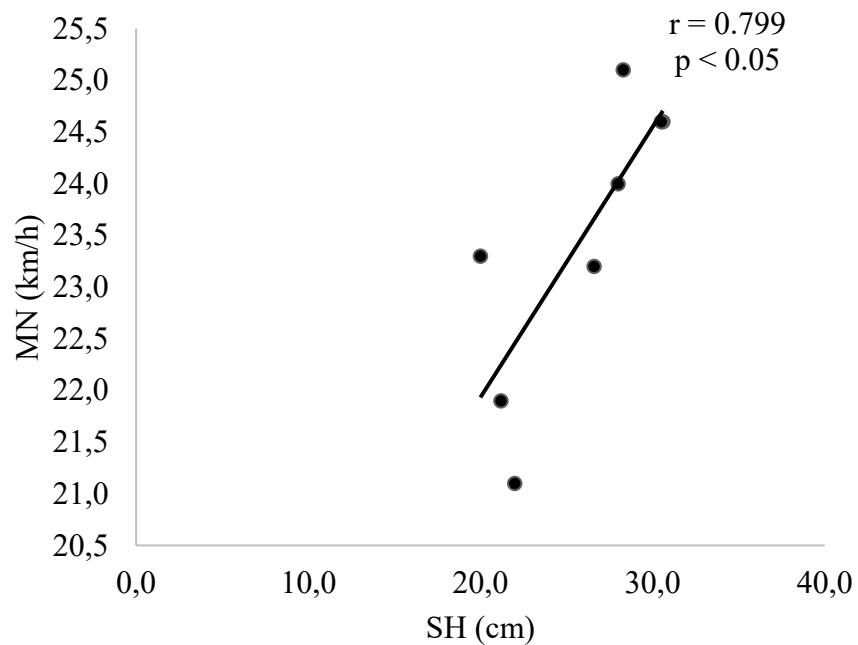
Prepuberteettiryhmällä staattisen hypyn hyppykorkeus oli yhteydessä lineaarinopeuden muuttujiin eli 10 m lineaarinopeuteen, 30 m lineaarinopeuteen sekä maksiminopeuteen. Tulokset on esitetty kuvissa 9-11.



KUVA 9. Staattisen hypyn ja 10 m lineaarinopeuden yhteys prepuberteettiryhmällä.

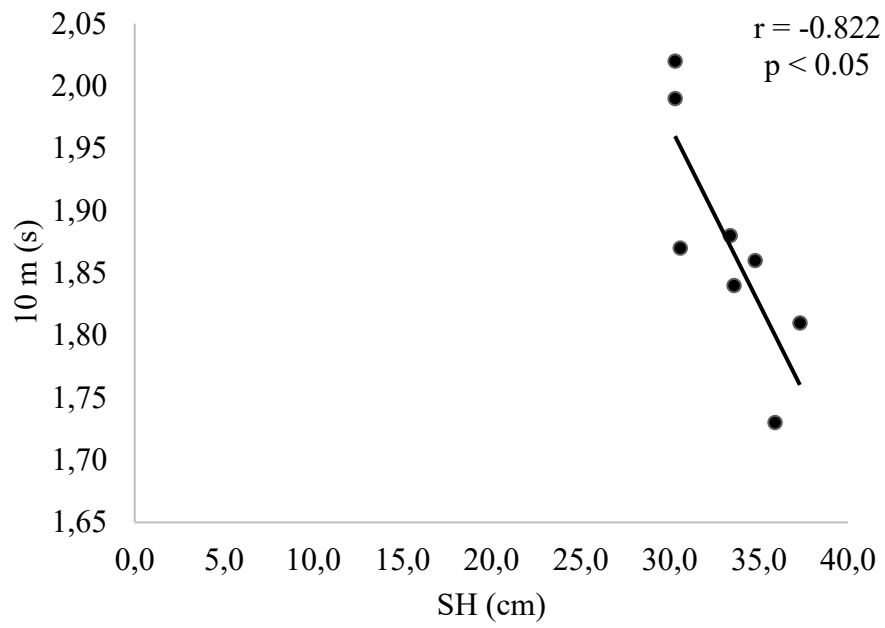


KUVA 10. Staattisen hypyn ja 30 m lineaarinopeuden yhteys prepuberteettiryhmällä.

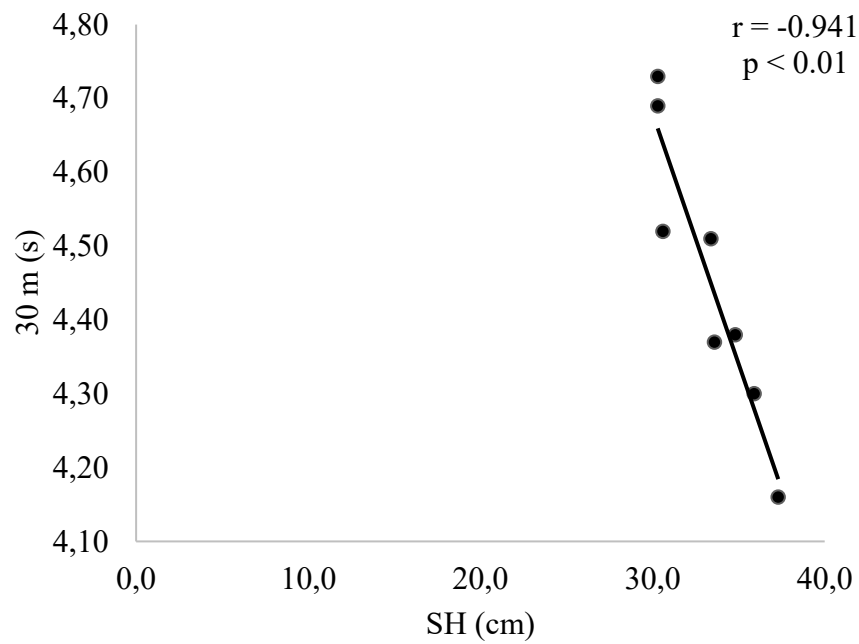


KUVA 11. Staattisen hypyn ja maksiminopeuden yhteys prepuberteettiryhmällä.

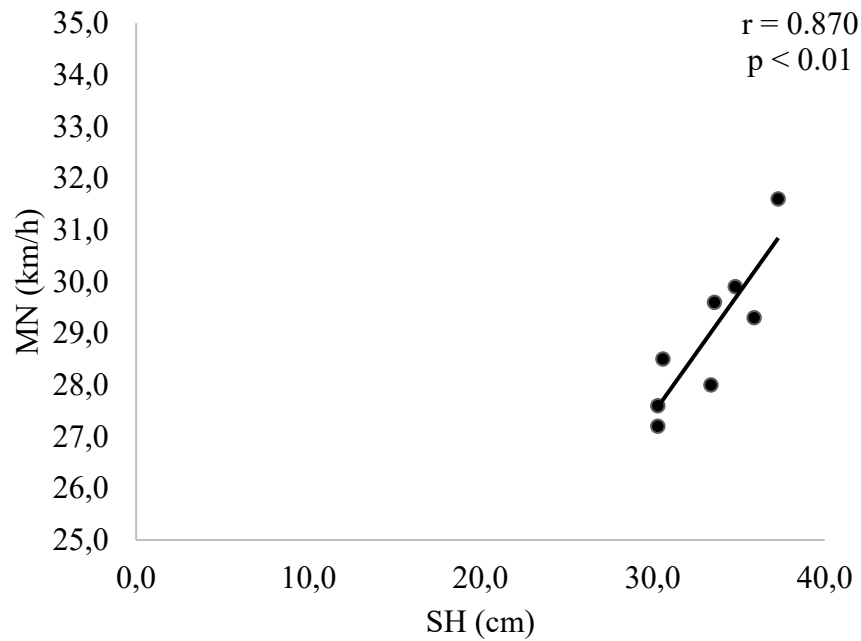
Postpuberteettiryhmällä staattisen hypyn hyppykorkeus oli vastaavasti kuten prepuberteettiryhmällä yhteydessä 10 m ja 30 m lineaarinopeuteen sekä maksiminopeuteen. Tulokset staattisen hypyn hyppykorkeuden ja lineaarinopeuden välisistä yhteyksistä on esitetty kuvissa 12-14.



KUVA 12. Staattisen hypyn ja 10 m lineaarinopeuden yhteys postpuberteettiryhmällä.



KUVA 13. Staattisen hypyn ja 30 m lineaarinopeuden yhteys postpuberteettiryhmällä.



KUVA 14. Staattisen hypyn ja maksiminopeuden yhteys postpuberteettiryhmällä.

Prepuberteettiryhmällä havaittiin yhteys suunnanmuutosnopeuden vasemman ja oikean puolen käännösten välillä ( $r = 0.755$ ,  $p < 0.05$ ). Suunnanmuutosvaje ei ollut yhteydessä suunnanmuutos- tai lineaarinopeuden muuttujiin. Lineaarinopeuden ja suunnanmuutosnopeuden välillä ei mitattu yhteyttä prepuberteettiryhmällä. Postpuberteettiryhmällä suunnanmuutosnopeudessa vasemman ja oikean puolen käännösten välillä havaittiin yhteys ( $r = 0.803$ ,  $p < 0.05$ ). Samoin kuin prepuberteettiryhmällä, suunnanmuutosvaje ei ollut yhteydessä suunnanmuutos- tai lineaarinopeuden muuttujiin. Postpuberteettiryhmällä 10 m lineaarinopeus oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen oikean puolen käännöksellä ( $r = 0.713$ ,  $p < 0.05$ ).

Lineaarinopeuden muuttujien välisistä yhteyksistä prepuberteettiryhmällä 10 m lineaarinopeus oli yhteydessä 30 m nopeuteen ( $r = 0.981$ ,  $p < 0.01$ ) sekä maksiminopeuteen ( $r = -0.900$ ,  $p < 0.01$ ). Samoin 30 m lineaarinopeus oli yhteydessä maksiminopeuteen ( $r = -0.963$ ,  $p < 0.01$ ). Postpuberteettiryhmällä 10 m lineaarinopeus oli yhteydessä 30 m nopeuteen ( $r = 0.881$ ,  $p < 0.01$ ). Toisin kuin prepuberteettiryhmällä, postpuberteettiryhmällä 10 m lineaarinopeuden ja maksiminopeuden välillä ei havaittu yhteyttä. 30 m lineaarinopeus oli puolestaan yhteydessä maksiminopeuteen postpuberteettiryhmällä ( $r = -0.947$ ,  $p < 0.01$ ).

Pelissä saavutetun huippunopeuden ja muiden nopeusmuuttujien välillä ei havaittu yhteyttä kummankaan tutkittavan ryhmän kohdalla. Pre- ja postpuberteettiryhmien yhdistetyllä aineistolla mitattuna maksiminopeus oli yhteydessä pelissä saavutettu huippunopeuteen. Vastaavasti suunnanmuutosvaje oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen. Tulokset on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Nopeusominaisuuksien väliset yhteydet yhdistetyllä aineistolla mitattuna (n = 16).

	SMN vasen (s)	SMN oikea (s)	SMV vasen (s)	SMV oikea (s)	10 m (s)	30 m (s)	MN (km/h)	HP (km/h)
SMNvasen (s)	1	<b>0.906**</b>	<b>0.578*</b>	<b>0.557*</b>	<b>0.802**</b>	<b>0.806**</b>	-0.813	-0.233
SMNoikea (s)	<b>0.906**</b>	1	0.359	<b>0.666**</b>	<b>0.850**</b>	<b>0.823**</b>	-0.782	-0.309
SMVvasen (s)	<b>0.578*</b>	0.359	1	<b>0.704**</b>	-0.023	0.023	-0.104	0.200
SMVoikea (s)	<b>0.557*</b>	<b>0.666**</b>	<b>0.704**</b>	1	0.173	0.167	-0.164	0.027
10 m (s)	<b>0.802**</b>	<b>0.850**</b>	-0.023	0.173	1	<b>0.972**</b>	-0.922	-0.437
30 m (s)	<b>0.806**</b>	<b>0.823**</b>	0.023	0.167	<b>0.972**</b>	1	-0.982	-0.513
MN (km/h)	-0.813	-0.782	-0.104	-0.164	-0.922	-0.982	1	<b>0.565*</b>
HP (km/h)	-0.233	-0.309	0.200	0.027	-0.437	-0.513	0.565*	1

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.001$ .

Prepuberteettiryhmällä ei havaittu yhteyttä isometrisen maksimivoiman ja nopeus- tai nopeusvoimamuuttujien välillä. Postpuberteettiryhmällä isometrinen absoluuttinen maksimivoima oli yhteydessä kevennyshypyn absoluuttiseen tehoon ( $r = 0.724$ ,  $p < 0.05$ ). Muita yhteyksiä isometrisen maksimivoiman ja nopeusvoima- tai nopeusmuuttujien välillä ei havaittu.

### 7.3 Nopeusvoima lineaarinopeutta selittävänä tekijänä

Linearisessa regressioanalyysissä päädyttiin tarkastelemaan nopeusvoimaominaisuuden vaikutusta lineaarinopeuteen. Muuttujina käytettiin staattisen hypyn hyppykorkeutta, 10 m ja 30 m lineaarinopeutta sekä maksinopeutta. Staattisen hypyn hyppykorkeuden ja lineaarinopeuden muuttujien välillä havaittiin voimakas yhteys molempien tutkittavien ryhmien kohdalla.

Tulosten mukaan prepuberteettiryhmällä staattisen hypyn hyppykorkeus selitti 89 % 10 m, 80 % 30 m sekä 58 % maksiminopeuden vaihtelusta. Postpuberteettiryhmällä vastaavasti staattisen

hypyn hyppykorkeus selitti 62 % 10 m, 87 % 30 m ja 72 % maksiminopeuden vaihtelusta. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Staattisen hypyn hyppykorkeus lineaarinopeutta selittävänä tekijänä.

	PRE-P		POST-P	
		Ra <sup>2</sup>		Ra <sup>2</sup>
10 m (s)	SH (cm)	0.89**	SH (cm)	0.62*
30 m (s)	SH (cm)	0.80*	SH (cm)	0.87**
MN (km/h)	SH (cm)	0.58*	SH (cm)	0.72*

\* p < 0.05, \*\* p < 0.001.



## 8 POHDINTA

Jalkojen ojentajalihasten räjähtävyys staattisen hypyn hyppykorkeutena mitattuna oli yhteydessä ja selitti huomattavan osan ennen murrosikää ja murrosiän jälkeen olevien pelaajien kiihdytys- ja maksiminopeudesta. Odotetunlaisesti ryhmät erosivat toisistaan lähes kaikissa muuttujissa antropometrisissa sekä nopeus- ja voimaominaisuuksissa postpuberteettiryhmän ollen keskiarvallisesti nopeampia, räjähtävämpiä ja vahvempia prepuberteettiryhmään verrattuna. Ryhmien välillä ei havaittu eroa yksittäisissä fyysisen suorituskyvyn muuttujissa: reaktiivisuushypyn kontaktiajassa, suunnanmuutosvajeessa ja suhteellisessa isometrisessä maksimivoimassa sekä pelissä mitatussa huippunopeudessa.

### 8.1 Antropometriset ominaisuudet

Prepuberteettiryhmällä antropometrinen ja fyysisten suorituskykykuuttujien välillä ei havaittu yhteyttä. Postpuberteettiryhmällä paino ja painopituus-suhde olivat yhteydessä staattisen hypyn absoluuttiseen tehoon ja paino kevennyshypyn absoluuttiseen tehoon. Muita yhteyksiä ei havaittu. Tulokset eroavat osittain aikaisemmista tutkimuksista, joissa antropometriset muuttujat ovat olleet yhteydessä laajemmin nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksiin pre- ja postpuberteetti-ikäisillä tutkittavilla (Carvalho ym. 2011; Lloyd ym. 2011).

Tuloksia saattaa selittää erityisesti prepuberteettiryhmän kohdalla tutkittavien samankaltaisuus (Haugen ym. 2019a) antropometrisissa ominaisuuksissa, jolloin antropometriset ominaisuudet eivät välttämättä muodostu erotteluvaksi tekijäksi ja yhteyttä fyysiseen suorituskykyyn ei havaita. Postpuberteetti-ikäisillä painoon liittyvien muuttujien yhteys vertikaalihypyistä mitattuun absoluuttiseen tehoon selittynee sillä, että kookkaamman pelaajan tulee kyetä tuottamaan enemmän voimaa ja tehoa voittaakseen oman kehon aiheuttama inertia sekä saavuttaakseen vastaavan hyppykorkeuden kevyempään pelaajaan verrattuna. Tällöin myös absoluuttinen teho kasvaa. (Haff & Nimphius 2012) Suuremmalla otantamäärällä olisi mahdollisesti voitu havaita enemmän yhteyksiä antropometrinen ja fyysisten suorituskykykuuttujien välillä.

## 8.2 Nopeusvoimaominaisuudet

Molemmilla ryhmillä staattisen hypyn hyppykorkeus oli voimakkaasti yhteydessä lineaarinopeuden muuttujiin ja selitti 58-89 % kiihdytys- ja maksiminopeuden vaihtelusta. Voimakkaimmin staattisen hypyn hyppykorkeus selitti prepuberteettiryhmällä 10 m ja 30 m sekä postpuberteettiryhmällä 30 m ja maksiminopeuden vaihtelusta. Tulos on linjassa aikaisemmissa tutkimuksissa tehdyille havainnoille nopean voimantuoton merkityksestä nopeussuorituksiin myös nuorten pelaajien kohdalla (Diallo ym. 2001; Meylan ym. 2014b).

Nopeusvoimaominaisuudet ovat yksi keskeinen nopeussuorituksia määrittävä tekijä, kun voimaa tulee kyetä tuottamaan lyhyen ajan sisällä. Nopeusvoimaominaisuudet vaikuttavat lineaarinopeudessa niin ensimmäisiin askeliin, kiihdytykseen kuin maksimijuoksuun. (Cronin & Hansen 2005) Staattinen hyppy mittaa jalkojen ojentajalihasten konsentrista tehoa ilman elastisuutta ja reaktiivisuutta (McBride ym. 2008). Kiihdytyksessä reaktiivisella voimalla ei ole niin suurta merkitystä askelkontaktin keston ollessa pidempi. Elastisuuden ja reaktiivisen voimantuoton merkitys korostuu maksimijuoksussa kontaktiajan lyhentyessä. (Chelly & Denis 2001) Vertikaalisen voimantuoton merkitys ei myöskään välttämättä korostu ensimmäisissä askelissa vaan vaikuttaa enemmän kiihdytyksen loppupuolella. Lockien ym. (2011) havaitsivat vertikaalihypyn ja lineaarinopeuden välillä voimakkaimmat yhteydet  $> 5$  m matkoilta, mikä vastaa tässä tutkimuksessa tehtyjä havaintoja.

Mielenkiintoa tuloksissa herättää se miksi voimakas yhteys molemmilla ryhmillä havaittiin nimellisesti staattisen hypyn hyppykorkeuden ja lineaarinopeuden muuttujien välillä. Staattinen hyppy ei suorituksena sisällä juoksussa olennaisen venymislyhenemis-syklin hyödyntämistä. Kevennys- ja reaktiivisuushyppy eivät kuitenkaan olleet yhteydessä lineaarinopeuteen kummallakaan ryhmällä. Tyypillisesti reaktiivinen voima on ollut yhteydessä lineaarinopeuteen erityisesti maksiminopeuden osalta (Chelly & Denis 2001) ja ollut erottavana tekijänä hitaampien ja nopeampien suoritusten välillä (Cronin & Hansen 2005; Lockie ym. 2011). Aikaisemmissa tutkimuksissa kevennyshypyn on havaittu olevan yhteydessä lineaarinopeuteen pre- ja postpuberteetti-ikäisillä (Meylan ym. 2014b; Warneke ym. 2023) sekä aikuisilla tutkittavilla (Cronin & Hansen 2005) varsinkin kiihdytysnopeuden osalta (Bret ym. 2002). Kevennyshyppy on myös mielletty varsinkin nuorilla toistettavammaksi testiksi staattiseen hyppyyn verrattuna. Harrisonin ja Gaffneyn (2001) tutkimuksessa erityisesti staattisen hypyn ponnistuksen nopeus

osoitti suurempaa vaihtelevuutta kevennyshyppyyn verrattuna. Johtopäätöksenä oli, että esikevennys helpottaa liikkeen koordinaatiota.

Tässä tutkimuksessa havaittuihin tuloksiin voi vaikuttaa biologisen kasvun ja kehityksen vaihe erityisesti prepuberteettiryhmällä. Venymislyhenemis-syklin hyödyntäminen kehittyy biologisen kasvun ja kehityksen myötä (Radnor ym. 2018). Toinen selittävä tekijä voi olla harjoittelu. Toisin kuin Harrisonin ja Gaffneyn (2001), Meylan ym. (2012) havaitsivat kevennyshypyn alaschenovaiheessa eniten vaihtelevuutta suoritusten välillä. Alaschenovaihe on enemmän riippuvaista motorisesta kontrollista kuin koordinaatiosta. Haasteet kontrollissa voivat näkyä pidempänä ala-asennon kestona ja ylävartalon kallistumisena voimakkaammin eteenpäin. (Jensen ym. 1994) Esikevennyksen täysipainoinen hyödyntäminen edellyttää siten myös harjoittelua mikä poikkeaa ponnistuksen ylöshenovaiheesta. Tutkittavien harjoittelu on voinut sisältää nopeita suorituksia painottuen enemmän konsentrisen voimantuoton kehittämiseen, kuten kiihdytyksiin (Chelly & Denis 2001) ja sisältäen vähemmän reaktiivisen voimantuoton kehittämistä sekä esikevennyksen hyödyntämistä suorituksessa. Joukkuelajeissa nopeissa suorituksissa ei aina ole mahdollista tehdä esikevennystä suorituksen aikapaineesta johtuen (Van Hooren & Zolotarjova 2017).

Prepuberteettiryhmällä reaktiivisen voiman indeksi oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen. Samoin staattisen hypyn hyppykorkeus oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen oikealle puolelle kääntyessä. Muiden nopeusvoimamuuttujien ei havaittu olevan yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen. Suunnanmuutossuorituksessa käännöksen jälkeinen askel edellyttää konsentrista tehoa (Dos Santos ym. 2017; Spiteri ym. 2015), mikä selittänee staattisen hypyn hyppykorkeuden yhteyden suunnanmuutosnopeuteen. Reaktiivisen voiman ja suunnanmuutosnopeuden välinen yhteys antaa osviittaa pelaajien paremmasta eksentrisen kuorman säätelystä lyhyen ajan sisällä, mistä on etua myös suunnanmuutosnopeussuorituksessa (Gillen ym. 2019; Hammami ym. 2018). Aikaisemmissa tutkimuksissa reaktiivisen voiman on havaittu olevan yhteydessä erityisesti hyökkäävän pelaajan ketteryysuoritukseen, jolloin pelaaja tekee tehokkaan ja nopean suunnanmuutoksen suurella liikemäärän muutoksella (Young ym. 2017).

Reaktiivisuushyppy suorin jaloin toteutettuna mittaa nilkan alueen voimaa ja jäykkyyttä kuten tässä tutkimuksessa tehtiin. Kevennyshyppyyn vaikuttaa enemmän polven alueen toiminta. (Pleša ym. 2022) Tällöin voi olla tilanne, että pelaajan kyky säädellä eksentristä kuormaa eroaa suoritusten välillä kuten reaktiivisuushyppy verrattuna kevennyshypyn alaschenovaiheeseen.

Reaktiivisen voiman ja suunnanmuutosnopeuden yhteyttä ei voida myöskään pitää täysin kausiliteettina. Nuorempien pelaajien kohdalla reaktiivisen voiman indeksin ja suunnanmuutosnopeuden välistä yhteyttä saattaa selittää yleinen motorinen kyvykkyys, mikä näkyy eri suorituksissa ja suoritusten välisissä yhteyksissä (Costa ym. 2021) eli mikäli pelaaja hallitsee vaativan hyppyjä sisältävän suorituksen, hallitsee hän todennäköisesti muitakin vaativia motorisia suorituksia.

Postpuberteettiryhmällä nopeusvoimamuuttujien ja suunnanmuutosnopeuden välillä ei havaittu yhteyttä. Tulokset poikkeavat aikaisemmista tutkimuksista, joissa vertikaalisten hyppytestien ja suunnanmuutosnopeuden välillä on havaittu yhteys (Young ym. 2015) vaikkakin hyppy- ja suunnanmuutosnopeustestien välinen yhteys on monesti kohtalainen ja riippuu käytetystä testistä. Kevennyshyppy on tyypillisesti hieman voimakkaammin yhteydessä jyrkän käännöksen suunnanmuutosnopeussuorituksiin ja vertikaaliset pudotushypyt nopeaan ja terävään käännökseen. (Yanci ym. 2014) Postpuberteettiryhmällä tulos saattaa ilmentää pelaajien samankaltaisuutta (Haugen ym. 2019a) eksentrisen voiman säätelyssä, jolloin nopeusvoimaominaisuudet eivät muodostu erottelevaksi tekijäksi ja vastaavaa yhteyttä verrattuna nopeusvoiman ja lineaarinopeuden väliseen yhteyteen ei myöskään havaita.

Ei ole täysin tavatonta, että yhteyttä ei havaita suunnanmuutosnopeuden ja muiden fyysisten ominaisuuksien välillä johtuen suunnanmuutossuorituksen monivaiheisuudesta. Suunnanmuutosnopeus on haastava tekninen suoritus, mihin vaikuttavat useat eri tekniset ja voimantuottoliset osa-alueet. (Sheppard & Young 2006; Spiteri ym. 2015) Tässä tutkimuksessa käytetyssä testissä korostuu kiihdytysaskelten jälkeen nopea jarruttaminen ja voimakas vartalon asennon muuttaminen käännökseen ja uudelleen kiihdytys (Sayers 2015; Spiteri ym. 2015).

Ryhmien välisessä keskiarvojen vertailussa nopeusvoimaominaisuudet erosivat pre- ja postpuberteettiryhmien välillä lähes jokaisessa nopeusvoimamuuttujassa. Ainoastaan reaktiivisuushyppytestin kontaktiajassa ei havaittu eroa. Vastaavan suuntaisia tuloksia ovat saaneet Meyers ym. (2017b). Meyersin ym. (2017b) tutkimuksessa postpuberteetti-ikäiset tutkittavat kykenivät tuottamaan enemmän voimaa juoksuaskeleen askelkontaktin aikana, mutta askelkontaktin kesto oli pidempi verrattuna prepuberteetti-ikäisiin. Reaktiivisuushypyn kontaktiaika on riippuvainen hyvin samankaltaisista tekijöistä kuin maksimijuoksun kontaktiaika. Suoritukseen vaikuttaa vertikaalisuuntainen alaraajojen jäykkyys. Jäykkyyttä voidaan tarkastella 1) kehon massakeskipisteen ylös-alaisen liikkeen suuruutena kontaktissa sekä 2) nivelten ja jänteiden jäykkyytenä.

Molemmilla muuttujilla on vaikutusta suoritukseen, oli kyse sitten hyppäämisestä, ponnistamisesta tai juoksemisesta. (McMahon ym. 2012)

Alaraajojen jäykkyyden on havaittu kehittyvän biologisen kasvun ja kehityksen (Lloyd ym. 2011) sekä harjoittelun vaikutuksesta (Kubo ym. 2007). De Ste Croixin ym. (2021) pitkittäis-seurannassa alaraajojen suhteellinen jäykkyys kuitenkin heikkeni nuorilla, vaikka reaktiivinen voima kehittyi. Kasvun myötä myös kehon massa lisääntyy, mikä tarkoittaa suurempia kehoon kohdistuvia voimia (Meyers ym. 2017b). Jäykkyyttä ja samalla nopeampaa askelkontaktia (ja tiheyttä), on mahdollista kehittää parantamalla suhteellisia voimatasoja, jolloin on helpompi vastustaa kontaktissa kehon massakeskipisteen vajoamista alas. Kehon massakeskipisteen vajoaminen alas kontaktin aikana vaikuttaa negatiivisesti jousi-massasysteemin toimintaan ja reaktiiviseen voimantuottoon. Hyvä vertikaalinen voimantuotto estää lantion alas vajoamisen ja mahdollistaa nopeuden säilymisen. (Bret ym. 2002; Farley & González 1996). Toinen tekijä on vaikuttaa nivelten ja jänteiden jäykkyyteen, mikä tarkoittaa käytännössä hyppy- ja loikka- sekä lisäkuormalla tapahtuvaa voimaharjoittelua (Kubo ym. 2007).

### 8.3 Maksimivoimaominaisuudet

Isometrinen absoluuttinen maksimivoima erosi ryhmien välillä, mutta kehon painoon suhteutettussa suhteellisessa isometrisessä maksimivoimassa ei havaittu eroa. Voiman luontainen kehittyminen on yhteydessä kehon koon kasvuun. Kun voima suhteutetaan kehon kokoon, erot saattavat vähentyä. Tämä on havaittu aikaisemmissa tutkimuksissa, missä voimatasoja on vertailtu eri biologisen kasvun ja kehityksen vaiheessa olevilta tutkittavilta. (Tonson ym. 2008) Harjoittelulla on kuitenkin mahdollista saavuttaa maksimivoimatasojen kehitystä yli luontaisen kasvun ja kehityksen aikaansaaman muutoksen (Faigenbaum ym. 1999).

Maksimivoima on tunnetusti nopeusvoiman ja nopeuden taustalla vaikuttava perusominaisuus. Wisløffin ym. (2004) tutkimuksessa maksimivoima oli yhteydessä lineaarinopeuteen sekä nopeusvoimaominaisuuksiin vahvimpien pelaajien ollen nopeampia ja räjähtävämpiä. Tässä tutkimuksessa ainoa merkitsevä yhteys mitattiin postpuberteettiryhmällä isometrisen absoluuttisen maksimivoiman ja kevennyshypyn absoluuttisen tehon välillä. Fysiikan suureena teho (P) voidaan kirjoittaa muotoon  $P = F \cdot t$ , mikä ilmaisee voiman (F) merkitystä ajan (t) ohella tehontuotossa. Isometrisessä maksimivoimassa ja kevennyshypyssä voimaa tuotetaan pidempään

(> 300 ms) verrattuna muihin tutkimuksessa käytettyihin mittauksiin. Postpuberteettiryhmällä paino oli yhteydessä kevennyshypyn absoluuttiseen tehoon, mikä kuvastaa osaltaan voimantuoton vaadetta ja yhteyttä kevennyshypyn absoluuttisen tehon ja isometrisen maksimivoiman välillä. (Haff & Nimphius 2012)

Isometrisellä maksimivoimalla ei kuitenkaan pääsääntöisesti ollut yhteyttä tutkittavien nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksiin. Aikaisemmissa tutkimuksissa maksimivoima on ollut yhteydessä esimerkiksi pre- ja postpuberteetti-ikäisillä 20 m lineaarinopeuteen (Meylan ym. 2014b). Voiman ilmeneminen on spesifiä ja riippuvaista nivelkulmasta ja lihastyötavasta (Zatsiorsky & Kraemer 2006, 18-45). Yhteys isometrisen maksimaalisen voimantuoton 107° polvikulmalta toteutettuna ja nopeiden venymislyhenemis-sykliä hyödyntävien dynaamisten liikkeiden välillä voi siten jäädä vähäiseksi.

#### **8.4 Nopeusominaisuudet**

Kuten nopeus- ja maksimivoimaominaisuuksissa, pre- ja postpuberteettiryhmät erosivat toisistaan pääsääntöisesti kaikissa nopeusmuuttujissa. Molemmilla ryhmillä vasemman ja oikean puolen käännösten välillä havaittiin yhteys. Ryhmien välistä eroa ei havaittu suunnanmuutosvajeessa, vaikka suunnanmuutosnopeus erosi ryhmien välillä postpuberteettiryhmän ollen parempi verrattuna prepuberteettiryhmään.

Suunnanmuutosvaje ilmaisee käännökseen kulunutta aikaa. Suunnanmuutossuorituksissa on mahdollista, että parempi lineaarinopeuden taso saa aikaan paremman kokonaisajan, vaikka käännös ei muuttuisikaan nopeammaksi. Käännöksen samankaltaisuus ryhmien välillä voi selittyä postpuberteetti-ikäisten pelaajien koon ja lineaarinopeuden kehittymisellä. Kuten aikaisemmin on jo todettu, suuremman massan omaavilla pelaajilla on suurempi inertia, jolloin tarvitaan enemmän voimaa liikkeen muuttamiseksi (Haff & Nimphius 2012). Samoin käännöksen tekeminen muuttuu haastavammaksi suuremmasta suoritusnopeudesta (Freitas ym. 2019). Tällöin muusta fyysisestä kehityksestä huolimatta, käännöksen nopeus ei välttämättä kehity samassa suhteessa muiden ominaisuuksien kanssa. Loturco ym. (2020) tutkimuksessa U15, U17, U20 ja aikuisilla pelaajilla suunnanmuutosvajeen todettiin lisääntyvän vanhemmissa ikäluokissa. Suunnanmuutosvaje ei ollut yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen pre- ja postpuber-

teettiryhmillä. Yhteys suunnanmuutosvajeen ja suunnanmuutosnopeuden välillä mitattiin yhdistetyllä aineistolla. Suunnanmuutosvaje ei ollut yhteydessä lineaarinopeuteen. Tulokset yhdistetyllä aineistolla mitattuna vastaavat aikaisempia havaintoja (Nimphius ym. 2016).

Ainoa suunnanmuutosnopeuden ja lineaarinopeuden välinen yhteys mitattiin postpuberteettiryhmällä. 10 m kiihdytysnopeus oli yhteydessä suunnanmuutosnopeuteen oikean puolen käännöksellä. Toisin kuin nopeusvoimaominaisuudet, kiihdytysnopeus vaikutti postpuberteetti-ikäisillä suunnanmuutosnopeussuoritukseen.

Lineaarinopeus on yksi monista suunnanmuutosnopeuteen vaikuttavista ominaisuuksista. Lineaarinopeuden yhteys suunnanmuutosnopeuteen riippuu suorituksen samankaltaisuudesta ja lineaarinopeuden osuudesta suorituksessa. (Freitas ym. 2021; Lockie ym. 2014; Sayers 2015) Yhteys heikkenee mitä lyhyemmältä matkalta aika mitataan (Sayers 2015). Esimerkiksi Nimphiuksen ym. (2013) tutkimuksessa 4.6 m + 4.6 m suunnanmuutosnopeustestistä 180° käännöksellä toteutettuna tutkittavilta kului kokonaisajasta keskimäärin 69 % lineaarinopeuden osuuksiin ja 31 % kului käännökseen. Tällöin lineaarinopeutta parantamalla voi saavuttaa merkittävää kehitystä testissä. 5 m ensimmäisten askelten nopeus voisi vastata enemmän tässä tutkimuksessa käytetyn suunnanmuutosnopeustestin fyysistä vaadetta (5 m + 5 m), vaikka postpuberteettiryhmän tulos antaakin suuntaa kiihdytyskyvyn merkityksestä tutkimuksessa käytetyn suunnanmuutosnopeussuorituksen kannalta.

Kiihdytys- ja maksiminopeuden välisiä yhteyksiä tarkasteltaessa havaittiin myös eroavaisuuksia ryhmien välillä. Prepuberteettiryhmällä 10 m kiihdytysnopeus oli yhteydessä 30 m nopeuteen sekä maksiminopeuteen. Postpuberteettiryhmällä 10 m kiihdytysnopeuden ja maksiminopeuden välillä ei päinvastoin havaittu yhteyttä. 30 m nopeus oli puolestaan yhteydessä maksiminopeuteen postpuberteettiryhmällä. Tulos kuvastaa vanhemmilla pelaajilla kiihdytyksen ja maksimijuoksun erilaisuutta suoritusteknisesti ja voimantuotollisesti, jolloin voidaan havaita ero kiihdytyksen ja maksimijuoksun osalta (Buchheit ym. 2014). Nuoremmille pelaajille on tyypillistä, että nopeus ei ole ominaisuutena samalla tavalla eriytynyt vaan yhteys voidaan havaita keskenään hyvin erityyppisten nopeussuoritusten välillä (Pettersen & Mathisen 2012). Vanhemmat pelaajat myös kiihdyttävät pidempään ja saavuttavat maksiminopeutensa myöhemmin keskimäärin 30 m kohdalla verrattuna nuorempiin pelaajiin, jotka voivat saavuttaa oman maksiminopeutensa jo 20 m kohdalla (Al Haddad ym. 2015). Nämä havainnot saattavat

selittää pre- ja postpuberteettiryhmien välisiä eroja myös aikaisemmin mainitun 10 m lineaarinopeuden ja suunnanmuutosnopeuden välisissä yhteyksissä eli kiihdytyskyvyllä on mahdollisesti vaikutusta kyseiseen suunnanmuutosnopeussuoritukseen, mikä voidaan havaita postpuberteettiryhmän kohdalla.

Toisin kuin voisi olettaa, pelissä mitattu huippunopeus ei eronnut ryhmien välillä. Tulokset eroavat aikaisemmista havainnoista. Pääsääntöisesti ottelun intensiteetti ja suoritusnopeus on korkeampi vanhempien ikäluokkien otteluissa verrattuna nuorempien ikäluokkien otteluihin (Buchheit 2010a). Tulokset saattavat selittyä postpuberteettiryhmän suuremmalla vaihteluvälillä verrattuna prepuberteettiryhmään (19.0-30.3 km/h ja 19.9-22.7 km/h). Postpuberteettiryhmän vaihteluväli voi selittyä merkittävimmillä pelipaikkakohtaisilla eroilla verrattuna prepuberteettiryhmään. Postpuberteettiryhmän sisällä erot huippunopeudessa jakautuivat hyökkäävien ja puolustavien pelaajien välillä, hyökkäävien pelaajien saavuttaen suuremmat huippunopeudet verrattuna puolustaviin pelaajiin. On mahdollista, että puolustajien liikkumisessa on korostunut enemmän kiihdytykset kuin pidemmät sprintit, joiden aikana olisi mahdollista saavuttaa suurempi huippunopeus. (Di Salvo 2009; Di Salvo 2007)

Toinen ja todennäköisesti keskeisin tekijä on ottelun kesto. Prepuberteettiryhmällä mittaukset toteutettiin kahdesta 20 minuutin kestoisesta turnausottelusta ja postpuberteettiryhmällä 90 minuutin ottelusta. Prepuberteettiryhmän ottelun lyhyt kesto voi ohjata tekemään nopeita suorituksia ottelun ensimmäisistä minuuteista alkaen. Oletettavasti tarve kuormituksen säätelylle ei ole niin huomattava kuin pidempikestoisessa ottelussa, joissa väsymys voi altistaa intensiteetin laskulle ottelun lopussa (Di Salvo ym. 2007; Palucci Vieira ym. 2019).

Merkitsevä yhteys mitattiin yhdistetyllä aineistolla pelissä saavutetun huippunopeuden ja maksiminopeuden välillä. Huippunopeuden ja maksiminopeuden välinen yhteys on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa (Al Haddad ym. 2015; Mendez-Villanueva ym. 2011). Fyysisten suoritusten mittaaminen ottelusta ja yhteyksien todentaminen ei ole täysin yksiselitteistä, sillä suoritukseen vaikuttavat monet eri muuttujat. Tämä ei näy ainoastaan vertailtaessa joukkueita tai pelaajia keskenään vaan fyysisten ominaisuuksien pelisuorituksen välisten yhteyksien todentamisessa. (Bradley & Ade 2018)



## **8.5 Tutkimuksen vahvuudet**

Tutkimuksessa tarkasteltiin kattavasti eri biologisessa kasvun ja kehityksen vaiheessa olevien pelaajien antropometrisia sekä nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksia ja eri ominaisuuksien välisiä suhteita sekä myös rajatusti fyysisten ominaisuuksien ilmenemistä lajikon­tekstissa. Tutkimuksessa käytetyillä menetelmillä kyettiin havaitsemaan monia nuorten pelaajien kehitykseen ja harjoitteluun liittyviä erityiskysymyksiä.

## **8.6 Tutkimuksen rajoitteet**

Tutkimuksen rajoitteena oli vähäinen otteluiden määrä, joista pelissä saavutettu huippunopeus mitattiin sekä pelaajien määrä. Analyysiin sisältyi prepuberteettiryhmällä kaksi 20 minuutin turnausottelua ja postpuberteettiryhmältä yksi 90 minuutin ottelu. Otteluiden määrään vaikutti mittauslaitteiston saanti tutkimuksen kannalta sopivaan ajankohtaan ja otteluaikataulut. Peliin liittyvien fyysisten suoritusten tarkastelussa voidaan pitää suositeltavana kerätä aineistoa useammasta ottelusta. Samoin suurempi otanta mahdollisesti vaikuttaisi tuloksiin, mikäli vertailussa olisi useampia saman pelipaikan pelaajia.

## **8.7 Johtopäätökset**

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että erityisesti nopea voimantuotto on nuoren pelaajan kiihdytys- ja maksiminopeuteen vaikuttava merkityksellinen ominaisuus biologisesta kasvun ja kehityksen vaiheesta riippumatta. Tulos on linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa. Biologinen kasvu ja kehitys vaikuttavat fyysisten ominaisuuksien kehittymiseen vanhempien pelaajien ollen pääsääntöisesti kaikissa nopeus- ja voimaominaisuuksissa parempia nuorempiin pelaajiin verrattuna. Luontaisesta kehityksestä huolimatta, nuortenkin pelaajien kohdalla on suositeltavaa seurata fyysisissä ominaisuuksissa tapahtuvaa kehitystä suhteessa toteutuneeseen harjoitteluun ja biologisen kasvun ja kehityksen vaiheeseen.

## 8.8 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimusta olisi hyvä suunnata nopeus- ja voimaominaisuuksien profiloinnin tutkimiseen nuorten pelaajien osalta huomioiden 1) biologisen kasvun ja kehityksen vaihe, 2) muutokset antropometrisissa ominaisuuksissa, 3) taidollinen ja fyysinen kehittyminen sekä 4) lajissa vaadittavat voimantuottotavat tarkemmin eriteltynä. Erityisesti pitkittäisseuranta voisi antaa vielä tarkempaa kuvaa nuorten pelaajien ominaisuuksien kehittymisestä sekä eri muuttujien hyödynnettävyydestä arkivalmennuksessa.

## 8.9 Käytännön sovellukset

Jalkapallossa keskeisten nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksien kehittämisen näkökulmasta tarkasteltuna, harjoittelua on perusteltua kohdentaa laaja-alaisesti nopeuden ja voiman eri osaluokkiin erityisesti nuorten pelaajien kohdalla. Ensimmäisten askelten ja kiihdytyksen lisäksi huomiota tulee kiinnittää maksiminopeuteen, reaktiiviseen voimantuottoon, voimatasojen kehittämiseen sekä suunnanmuutosnopeuden tekniikan kehittämiseen suhteessa muutoksiin fyysisissä ja antropometrisissa ominaisuuksissa.

Pelaajien maksiminopeuden kehittämiseksi vetomatkojen tulisi olla kestoiltaan 4-5 s (Duthie ym. 2006) tarkoittaen nuoremmilla prepuberteetti-ikäisillä pelaajilla harjoittelua 20-30 m matkoilla sekä vanhemmilla postpuberteetti-ikäisillä 30-40 m matkoilla (Buchheit ym. 2012). Riittävän toistomäärän varmistamiseksi (Haugen ym. 2019b; Mora ym. 2018) ja nopeuden hyödyntämistä lajisuorituksessa tukee erillisten nopeusharjoitteiden lisäksi pelilliset harjoitteet, mitkä mahdollistavat suuren suoritusnopeuden saavuttamisen (Gualtieri ym. 2023). Nopeuden kehittäminen on siten suositeltavaa toteuttaa integroidusti yleisinä fyysisinä ominaisuusharjoitteina ja lajiharjoitteina.

Voimaominaisuuksien kehittäminen voidaan niin ikään nähdä tärkeänä osana pelaajan fyysisen ominaisuuksien kehitystä lapsuudesta alkaen. Nousujohteisesti toteutetun kohderyhmälle sopivan voimaharjoittelun tulisi sisältää esimerkiksi oman kehon painolla harjoittelua ja nostotekniikoiden opettelua myös lisäkuormia hyödyntäen (Lloyd ym. 2014b), tähdäten lopulta myöhemmässä vaiheessa voiman koko spektrin kehittämiseen nopeusvoimasta hermostolliseen

maksimivoimaan saakka (Haff & Nimphius 2012). Voimatasojen kehittäminen ei edistä ainoastaan lineaarinopeuden kehittymistä vaan on yhteydessä eksentrisen kuorman säätelyyn (Beattie 2017) ja motoristen taitojen oppimiseen (Behringer ym. 2011). Plyometrinen harjoittelu osana voimaharjoittelua tulisi sisältää harjoitteita eri suuntiin ja tasoissa. Hyppy- ja loikkaharjoitteiden tulisi sisältää niin nopealla kontaktilla ja jäykällä jalalla tehtäviä hyppyjä kuin kolmi- vaiheista ojennusta ilmentäviä liikkeitä, joissa voima virtaa keskustan vahvoista lihaksista kohti ääreisosia. (Jensen ym. 1994; Meylan ym. 2014a). Pelaajalle voi olla myös etua opetella tekemään ponnistuksia staattisesta asennosta sekä esikevennystä hyödyntäen (Van Hooren & Zolotarjova 2017).

Eri suoritusten tekniikoiden kehittäminen on hyvä huomioida suhteessa fyysisten ominaisuuksien kehittymiseen tarkoittaen käytännössä molempien osa-alueiden huomioimista harjoitusohjelmassa suhteessa toisiinsa.

Fyysisten ominaisuuksien laaja-alaisen kehittämisen lisäksi on tärkeää seurata ovatko pelaajilla havaittavat muutokset fyysisessä suorituskvyssä harjoittelun tavoitteiden mukaisia sekä ymmärtää syy-seuraussuhteet eri ominaisuuksien välillä suhteessa biologisen kasvun ja kehityksen vaiheeseen, mikä luo perustan valmennuksellisille valinnoille.

## LÄHTEET

- Al Haddad, H., Simpson, B. M., Buchheit, M., Di Salvo, V., & Mendez-Villanueva, A. (2015). Peak match speed and maximal sprinting speed in young soccer players: Effect of age and playing position. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10 (7), 888–896. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2014-0539>.
- Amonette, W. E., Brown, L. E., De Witt, J. K., Dupler, T. L., Tran, T. T., Tufano, J. J., & Spiering, B. A. (2012). Peak vertical jump power estimations in youths and young adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (7), 1749–1755. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182576f1e>.
- Armstrong, N., & McNarry, M. (2016). Aerobic Fitness and Trainability in Healthy Youth: Gaps in Our Knowledge. *Pediatric Exercise Science*, 28 (2), 171–177. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0251>.
- Asadi, A., Ramirez-Campillo, R., Arazi, H., & Sáez de Villarreal, E. (2018). The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 36 (21), 2405–2411. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1459151>.
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., & Kenny, I. C. (2017). The Relationship Between Maximal Strength and Reactive Strength. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12 (4), 548–553. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0216>.
- Baker, D., & Heaney, N. (2015). Normative data for maximal aerobic speed for field sport athletes: A brief review. *Journal of Australian Strength and Conditioning*. <https://ro.ecu.edu.au/ecuworkspost2013/6856>.
- Behringer, M., Vom Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 23 (2), 186–206. <https://doi.org/10.1123/pes.23.2.186>.
- Binzoni, T., Bianchi, S., Hanquinet, S., Kaelin, A., Sayegh, Y., Dumont, M., & Jéquier, S. (2001). Human gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: From newborn to the elderly. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 20 (5), 293–298. <https://doi.org/10.2114/jpa.20.293>.
- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007a). Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer. *Journal of Sports Science & Medicine*, 6 (1), 63–70.

- Bloomfield, J., Polman, R., & O'Donoghue, P. (2007b). Turning movements performed during FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Science & Medicine* 6 (10), 9-10.
- Bobbert, M. F., & Casius, L. J. R. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37 (3), 440–446. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155389.34538.97>.
- Bradley, P. S., & Ade, J. D. (2018). Are Current Physical Match Performance Metrics in Elite Soccer Fit for Purpose or Is the Adoption of an Integrated Approach Needed? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13 (5), 656–664. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0433>.
- Bradley, P. S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Dodds, A., Di Mascio, M., Paul, D., Gomez Diaz, A., Peart, D., & Krstrup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 29 (8), 821–830. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>.
- Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A.-B., Messonnier, L., & Lacour, J.-R. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42 (3), 274–281.
- Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32 (20), 1906–1913. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.965191>.
- Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2013). Reliability and stability of anthropometric and performance measures in highly-trained young soccer players: Effect of age and maturation. *Journal of Sports Sciences*, 31 (12), 1332–1343. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.781662>.
- Buchheit, M., Simpson, B. M., Peltola, E., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Assessing maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7 (1), 76–78. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.1.76>.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Simpson, B. M., & Bourdon, P. C. (2010a). Match running performance and fitness in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 31 (11), 818–825. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1262838>.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., & Ahmaidi, S. (2010b). Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players:

- Speed versus sprint interval training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5 (2), 152–164. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.2.152>.
- Burgess, R. W., Cox, G. A., & Seburn, K. L. (2016). Neuromuscular Disease Models and Analysis. *Methods in Molecular Biology* (Clifton, N.J.), 1438, 349–394. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3661-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3661-8_19).
- Caldbeck, P., & Dos'Santos, T. (2022). A classification of specific movement skills and patterns during sprinting in English Premier League soccer. *PLOS ONE*, 17 (11), e0277326. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277326>
- Capranica, L., Tessitore, A., Guidetti, L., & Figura, F. (2001). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 19 (6), 379–384. <https://doi.org/10.1080/026404101300149339>.
- Carling, C., Bloomfield, J., Nelsen, L., & Reilly, T. (2008). The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 38 (10), 839–862. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838100-00004>.
- Carvalho, H. M., Coelho-e-Silva, M. J., Gonçalves, C. E., Philippaerts, R. M., Castagna, C., & Malina, R. M. (2011). Age-related variation of anaerobic power after controlling for size and maturation in adolescent basketball players. *Annals of Human Biology*, 38 (6), 721–727. <https://doi.org/10.3109/03014460.2011.613852>.
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (8), 2241–2249. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b86c40>.
- Chelly, S. M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (2), 326–333. <https://doi.org/10.1097/00005768-200102000-00024>.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.), 41 (1), 17–38. <https://doi.org/10.2165/11537690-000000000-00000>.
- Costa, C. L. A., Cattuzzo, M. T., Stodden, D. F., & Ugrinowitsch, H. (2021). Motor competence in fundamental motor skills and sport skill learning: Testing the proficiency barrier hypothesis. *Human Movement Science*, 80, 102877. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2021.102877>.

- Cronin, J. B., & Hansen, K. T. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (2), 349–357. <https://doi.org/10.1519/14323.1>.
- Deprez, D., Franssen, J., Boone, J., Lenoir, M., Philippaerts, R., & Vaeyens, R. (2015). Characteristics of high-level youth soccer players: Variation by playing position. *Journal of Sports Sciences*, 33 (3), 243–254. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.934707>.
- De Ste Croix, M., Lehnert, M., Maixnerova, E., Ayala, F., & Psotta, R. (2021). The Influence of Age and Maturation on Trajectories of Stretch-Shortening Cycle Capability in Male Youth Team Sports. *Pediatric Exercise Science*, 33 (1), 16–22. <https://doi.org/10.1123/pes.2020-0063>.
- Di Mascio, M., & Bradley, P. S. (2013). Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (4), 909–915. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825ff099>.
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30 (3), 205–212. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105950>.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924294>.
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41 (3), 342–348.
- Dos Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31 (3), 696–705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>.
- Duthie, G. M., Pyne, D. B., Marsh, D. J., & Hooper, S. L. (2006). Sprint patterns in rugby union players during competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (1), 208–214. <https://doi.org/10.1519/R-16784.1>.
- Enoka, R. M., (2015). *Neuromechanics of human movement*. 5. painos, Champaign IL: Human Kinetics, 35-36, 205-311.
- Faigenbaum, A.D., Lloyd, R. S. & Oliver, J.L. (2020). *Essentials of Youth Fitness*. Champaign: Human Kinetics, 19-42, 43-65.

- Faigenbaum, A. D., Westcott, W. L., Loud, R. L., & Long, C. (1999). The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics*, 104 (1), e5. <https://doi.org/10.1542/peds.104.1.e5>.
- Falk, B., & Eliakim, A. (2014). Endocrine response to resistance training in children. *Pediatric Exercise Science*, 26 (4), 404–422. <https://doi.org/10.1123/pes.2014-0161>.
- Farley, C. T., & González, O. (1996). Leg stiffness and stride frequency in human running. *Journal of Biomechanics*, 29 (2), 181–186. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00029-1](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00029-1).
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30 (7), 625–631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>.
- Freitas, T. T., Jeffreys, I., Reis, V. P., Fernandes, V., Alcaraz, P. E., Pereira, L. A., & Loturco, I. (2021). Multidirectional sprints in soccer: Are there connections between linear, curved, and change-of-direction speed performances? *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61 (2), 212–217. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11155-1>.
- Freitas, T. T., Pereira, L. A., Alcaraz, P. E., Arruda, A. F. S., Guerriero, A., Azevedo, P. H. S. M., & Loturco, I. (2019). Influence of Strength and Power Capacity on Change of Direction Speed and Deficit in Elite Team-Sport Athletes. *Journal of Human Kinetics*, 68, 167–176. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0069>.
- Gillen, Z. M., Jahn, L. E., Shoemaker, M. E., McKay, B. D., Mendez, A. I., Bohannon, N. A., & Cramer, J. T. (2019). Effects of Eccentric Preloading on Concentric Vertical Jump Performance in Youth Athletes. *Journal of Applied Biomechanics*, 35 (5), 327–335. <https://doi.org/10.1123/jab.2018-0340>.
- Gualtieri, A., Rampinini, E., Dello Iacono, A., & Beato, M. (2023). High-speed running and sprinting in professional adult soccer: Current thresholds definition, match demands and training strategies. A systematic review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2023.1116293>.
- Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34 (6), 2–12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>.
- Hammami, R., Sekulic, D., Selmi, M. A., Fadhloun, M., Spasic, M., Uljevic, O., & Chaouachi, A. (2018). Maturity Status as a Determinant of the Relationships Between Conditioning Qualities and Preplanned Agility in Young Handball Athletes. *Journal of Strength and*



- Conditioning Research, 32 (8), 2302–2313.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002390>.
- Harley, J. A., Barnes, C. A., Portas, M., Lovell, R., Barrett, S., Paul, D., & Weston, M. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 28 (13), 1391–1397. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.510142>.
- Harrison, A. J., & Gaffney, S. (2001). Motor development and gender effects on stretch-shortening cycle performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4 (4), 406–415. [https://doi.org/10.1016/s1440-2440\(01\)80050-5](https://doi.org/10.1016/s1440-2440(01)80050-5).
- Hartmann, H., Wirth, K., Keiner, M., Mickel, C., Sander, A., & Szilvas, E. (2015). Short-term Periodization Models: Effects on Strength and Speed-strength Performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 45 (10), 1373–1386. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0355-2>.
- Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. (2019a). Sprint running: From fundamental mechanics to practice-a review. *European Journal of Applied Physiology*, 119 (6), 1273–1287. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04139-0>.
- Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. (2019b). The Training and Development of Elite Sprint Performance: An Integration of Scientific and Best Practice Literature. *Sports Medicine - Open*, 5 (1), 44. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0221-0>.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (11), 1925–1931. <https://doi.org/10.1097/00005768-200111000-00019>.
- Jensen, J. L., Phillips, S. J., & Clark, J. E. (1994). For young jumpers, differences are in the movement's control, not its coordination. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 65 (3), 258–268. <https://doi.org/10.1080/02701367.1994.10607627>.
- Kotzamanidis, C. (2003). The effect of sprint training on running performance and vertical jumping in pre-adolescent boys. *Journal of Human Movement Studies*. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-effect-of-sprint-training-on-running-and-in-Kotzamanidis/ed99e3b441fc2502e490e87a7f505f3f507e4b73>.
- Kraemer, W. J., & Looney, D. P. (2012). Underlying Mechanisms and Physiology of Muscular Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34 (6), 13–19. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318270616d>.

- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38 (6), 1165–1174. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd>.
- Kubo, K., & Ikebukuro, T. (2019). Changes in joint, muscle, and tendon stiffness following repeated hopping exercise. *Physiological Reports*, 7 (19), e14237. <https://doi.org/10.14814/phy2.14237>.
- Kubo, K., Morimoto, M., Komuro, T., Yata, H., Tsunoda, N., Kanehisa, H., & Fukunaga, T. (2007). Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39 (10), 1801–1810. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31813e630a>.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (2001). Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. *International Journal of Sports Medicine*, 22 (2), 138–143. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11337>.
- Lexell, J., Sjöström, M., Nordlund, A. S., & Taylor, C. C. (1992). Growth and development of human muscle: A quantitative morphological study of whole vastus lateralis from childhood to adult age. *Muscle & Nerve*, 15 (3), 404–409. <https://doi.org/10.1002/mus.880150323>.
- Lloyd, R. & Oliver, J. (2019). *Strength and conditioning for young athletes: Science and application. 2. painos*. London: Routledge, 3-18, 241- 260.
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B. A., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016). Changes in Sprint and Jump Performances After Traditional, Plyometric, and Combined Resistance Training in Male Youth Pre- and Post-Peak Height Velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30 (5), 1239. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001216>.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. A. (2014a). Chronological age vs. biological maturation: Implications for exercise programming in youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (5), 1454–1464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>.
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., Brewer, C., Pierce, K. C., McCambridge, T. M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L. J., Jaques, R., Kraemer, W. J., McBride, M. G., Best, T. M., Chu, D. A., Alvar, B. A., & Myer, G. D. (2014b). Position statement on youth resistance training:

- The 2014 International Consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48 (7), 498–505. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>.
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength & Conditioning Journal*, 34 (3), 61–72. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2011). Specificity of test selection for the appropriate assessment of different measures of stretch-shortening cycle function in children. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51 (4), 595–602.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2009). Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths. *Journal of Sports Sciences*, 27 (14), 1565–1573. <https://doi.org/10.1080/02640410903311572>.
- Lockie, R. G., Jalilvand, F., Callaghan, S. J., Jeffriess, M. D., & Murphy, A. J. (2015). Interaction Between Leg Muscle Performance and Sprint Acceleration Kinematics. *Journal of Human Kinetics*, 49, 65–74. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-010>.
- Lockie, R. G., Jeffriess, M. D., McGann, T. S., Callaghan, S. J., & Schultz, A. B. (2014). Planned and reactive agility performance in semiprofessional and amateur basketball players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9 (5), 766–771. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0324>.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (6), 1539–1550. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234e8a0>.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. K. (2011). Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2704–2714. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31820d9f17>.
- Loturco, I., Jeffreys, I., Abad, C. C. C., Kobal, R., Zanetti, V., Pereira, L. A., & Nimphius, S. (2020). Change-of-direction, speed and jump performance in soccer players: A comparison across different age-categories. *Journal of Sports Sciences*, 38 (11–12), 1279–1285. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1574276>.
- Martinez-Santos, R., Castillo, D., & Los Arcos, A. (2016). Sprint and jump performances do not determine the promotion to professional elite soccer in Spain, 1994-2012. *Journal of Sports Sciences*, 34 (24), 2279–2285. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1190460>.

- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. 8. painos. Baltimore: Lippcott William & Wilkins, 134-147, 236-237.
- McBride, J. M., McCaulley, G. O., & Cormie, P. (2008). Influence of preactivity and eccentric muscle activity on concentric performance during vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (3), 750–757. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a83ef>.
- McMahon, J. J., Comfort, P., & Pearson, S. (2012). Lower Limb Stiffness: Effect on Performance and Training Considerations. *Strength & Conditioning Journal*, 34 (6), 94. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3182781b4e>.
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B., Peltola, E., & Bourdon, P. (2011). Does on-field sprinting performance in young soccer players depend on how fast they can run or how fast they do run? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (9), 2634–2638. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318201c281>.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S., & Cronin, J. B. (2017a). New Insights Into the Development of Maximal Sprint Speed in Male Youth. *Strength & Conditioning Journal*, 39(2), 2. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000290>.
- Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S., & Cronin, J. B. (2017b). Influence of Age, Maturity, and Body Size on the Spatiotemporal Determinants of Maximal Sprint Speed in Boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31 (4), 1009–1016. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001310>.
- Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Manson, S. (2014a). An Evidence-Based Model of Power Development in Youth Soccer. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 9 (5), 1241–1264. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.9.5.1241>.
- Meylan, C. M. P., Cronin, J., Oliver, J. L., Hopkins, W. G., & Pinder, S. (2014b). Contribution of Vertical Strength and Power to Sprint Performance in Young Male Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 35 (9), e2. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1377023>.
- Meylan, C. M. P., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & McMaster, D. T. (2012). The reliability of jump kinematics and kinetics in children of different maturity status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (4), 1015–1026. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822dcec7>.

- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (4), 689–694. <https://doi.org/10.1097/00005768-200204000-00020>.
- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21 (7), 519–528. <https://doi.org/10.1080/0264041031000071182>.
- Moran, J., Parry, D. A., Lewis, I., Collison, J., Rumpf, M. C., & Sandercock, G. R. H. (2018). Maturation-related adaptations in running speed in response to sprint training in youth soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21 (5), 538–542. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.012>.
- Moran, J., Sandercock, G., Rumpf, M. C., & Parry, D. A. (2017). Variation in Responses to Sprint Training in Male Youth Athletes: A Meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine*, 38 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1055/s-0042-111439>.
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Edwards, N. M., Clark, J. F., Best, T. M., & Sallis, R. E. (2015). Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach. *British Journal of Sports Medicine*, 49 (23), 1510–1516. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093661>.
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2014). The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28 (6), 1517–1523. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000293>.
- Nimphius, S., Callaghan, S. J., Spiteri, T., & Lockie, R. G. (2016). Change of Direction Deficit: A More Isolated Measure of Change of Direction Performance Than Total 505 Time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (11), 3024–3032. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001421>.
- Nimphius, S., Geib, G., Spiteri, T., & Carlisle, D. (2013). "Change of direction deficit" measurement in Division I American football players. <https://www.semanticscholar.org/paper/%22Change-of-direction-deficit%22-measurement-in-I-Nimphius-Geib/f777f4a58a907f5caf12c4534bb3b6afe14c004c>.
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2010). Mechanical properties of the patellar tendon in adults and children. *Journal of Biomechanics*, 43 (6), 1190–1195. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.11.028>.
- Palucci Vieira, L. H., Carling, C., Barbieri, F. A., Aquino, R., & Santiago, P. R. P. (2019). Match Running Performance in Young Soccer Players: A Systematic Review. *Sports*

- Medicine (Auckland, N.Z.), 49 (2), 289–318. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-01048-8>.
- Paradisis, G. P., Bissas, A., Pappas, P., Zacharogiannis, E., Theodorou, A., & Girard, O. (2019). Sprint mechanical differences at maximal running speed: Effects of performance level. *Journal of Sports Sciences*, 37 (17), 2026–2036. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1616958>.
- Pettersen, S. A., & Mathisen, G. E. (2012). Effect of Short Burst Activities on Sprint and Agility Performance in 11- to 12-Year-Old Boys. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26 (4), 1033. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822e58c8>.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24 (3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>.
- Pichardo, A. W., Oliver, J. L., Harrison, C. B., Maulder, P. S., & Lloyd, R. S. (2018). Integrating models of long-term athletic development to maximize the physical development of youth. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13 (6), 1189–1199. <https://doi.org/10.1177/1747954118785503>.
- Pleša, J., Kozinc, Ž., & Šarabon, N. (2022). A Brief Review of Selected Biomechanical Variables for Sport Performance Monitoring and Training Optimization. *Applied Mechanics*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/applmech3010011>.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: A new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25 (5), 583–594. <https://doi.org/10.1111/sms.12389>.
- Radnor, J. M., Oliver, J. L., Waugh, C. M., Myer, G. D., Moore, I. S., & Lloyd, R. S. (2018). The Influence of Growth and Maturation on Stretch-Shortening Cycle Function in Youth. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48 (1), 57–71. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0785-0>.
- Rampinini, E., Coutts, A. J., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28 (12), 1018–1024. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965158>.
- Rebelo, A., Brito, J., Seabra, A., Oliveira, J., & Krustup, P. (2014). Physical match performance of youth football players in relation to physical capacity. *European Journal of Sport Science*, 14 Suppl 1, S148-156. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.664171>.

- Round, J. M., Jones, D. A., Honour, J. W., & Nevill, A. M. (1999). Hormonal factors in the development of differences in strength between boys and girls during adolescence: A longitudinal study. *Annals of Human Biology*, 26 (1), 49–62. <https://doi.org/10.1080/030144699282976>.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Pinder, S. D., Oliver, J., & Hughes, M. (2012). Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatric Exercise Science*, 24 (2), 170–186. <https://doi.org/10.1123/pes.24.2.170>.
- Russell, M., Sparkes, W., Northeast, J., Cook, C. J., Love, T. D., Bracken, R. M., & Kilduff, L. P. (2016). Changes in Acceleration and Deceleration Capacity Throughout Professional Soccer Match-Play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30 (10), 2839–2844. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000805>.
- Sayers, M. G. L. (2015). Influence of Test Distance on Change of Direction Speed Test Results. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (9), 2412–2416. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001045>.
- Schimpchen, J., Skorski, S., Nopp, S., & Meyer, T. (2016). Are "classical" tests of repeated-sprint ability in football externally valid? A new approach to determine in-game sprinting behaviour in elite football players. *Journal of Sports Sciences*, 34 (6), 519–526. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1112023>.
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24 (9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>.
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *The Journal of Pediatrics*, 147 (4), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>.
- Sherwood, C., Read, P., Till, K., Paxton, K., Keenan, J., & Turner, A. N. (2021). Strength, power and speed characteristics in Elite Academy Soccer. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 29 (2), Article 2. <https://www.strengthandconditioning.org/jasc-29-2>.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35 (12), 1025–1044. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535120-00003>.
- Spiteri, T., Newton, R. U., Binetti, M., Hart, N. H., Sheppard, J. M., & Nimphius, S. (2015). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction and Agility Performance in

- Female Basketball Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (8), 2205–2214. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000876>.
- Strøyer, J., Hansen, L., & Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (1), 168–174. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000106187.05259.96>.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35 (6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>.
- Suomen Palloliitto. (2023). Säännöt, määräykset ja ohjeet. Viitattu 15.2.2023. <https://www.palloliitto.fi/saannot-maaraykset-ja-ohjeet/>.
- Tomkinson, G. R., Carver, K. D., Atkinson, F., Daniell, N. D., Lewis, L. K., Fitzgerald, J. S., Lang, J. J., & Ortega, F. B. (2018). 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*, 52 (22), 1445–14563. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098253>.
- Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Cozzone, P., & Bendahan, D. (2008). Effect of maturation on the relationship between muscle size and force production. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (5), 918–925. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181641bed>
- Torreño, N., Munguía-Izquierdo, D., Coutts, A., de Villarreal, E. S., Asian-Clemente, J., & Suarez-Arrones, L. (2016). Relationship Between External and Internal Loads of Professional Soccer Players During Full Matches in Official Games Using Global Positioning Systems and Heart-Rate Technology. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11 (7), 940–946. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0252>.
- Turner, A. N., & Jeffreys, I. (2010). The Stretch-Shortening Cycle: Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength & Conditioning Journal*, 32 (4), 87. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181e928f9>.
- Van Hooren, B., & Zolotarjova, J. (2017). The Difference Between Countermovement and Squat Jump Performances: A Review of Underlying Mechanisms with Practical Applications. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31 (7), 2011–2020. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001913>.
- Venturelli, M., Bishop, D., & Pettene, L. (2008). Sprint training in preadolescent soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3 (4), 558–562. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.4.558>.



- Viru, A, Loko, J Volver, A, Laaneots, L, Karelson, K, Viru, M. (1998). Age periods of accelerated improvement of muscle strength, power, speed and endurance in the age interval 6-18 years. *Biology of Sport*. 15 (4). WOS:000077804600003.
- Vuong, J.-L., Edel, A., Voß, P., & Ferrauti, A. (2022). Effectiveness and Kinematic Analysis of Initial Step Patterns for Multidirectional Acceleration in Team and Racquet Sports. *Journal of Human Kinetics*, 85, 13–22. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0106>.
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (12), 3342–3351. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318236d0c2>.
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., & Häkkinen, K. (2010). Development of Body Composition, Hormone Profile, Physical Fitness, General Perceptual Motor Skills, Soccer Skills and On-The-Ball Performance in Soccer-Specific Laboratory Test Among Adolescent Soccer Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9 (4), 547–556.
- Warneke, K., Wagner, C. M., Konrad, A., Kadlubowski, B., Sander, A., Wirth, K., & Keiner, M. (2023). The influence of age and sex on speed–strength performance in children between 10 and 14 years of age. *Frontiers in Physiology*, 14, 1092874. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1092874>.
- Wilson, J. M., & Flanagan, E. P. (2008). The role of elastic energy in activities with high force and power requirements: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22 (5), 1705–1715. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31817ae4a7>.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38 (3), 285–288. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.002071>.
- Wrigley, R. D., Drust, B., Stratton, G., Atkinson, G., & Gregson, W. (2014). Long-term soccer-specific training enhances the rate of physical development of academy soccer players independent of maturation status. *International Journal of Sports Medicine*, 35 (13), 1090–1094. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1375616>.
- Yanci, J., Arcos, A. L., Mendiguchia, J., & Brughelli, M. (2014). Relationships between sprinting, agility, one- and two-leg vertical and horizontal jump in soccer players. *Kinesiology*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Relationships-between-sprinting%2C-agility%2C-one-and-Yanci-Arcos/f6e8d9b0406ddf34ea4a7d47c1f0c069043f0016>.

- Young, W. B., & Murray, M. P. (2017). Reliability of a Field Test of Defending and Attacking Agility in Australian Football and Relationships to Reactive Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31 (2), 509–516. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001498>.
- Young, W. B., Miller, I. R., & Talpey, S. W. (2015). Physical qualities predict change-of-direction speed but not defensive agility in Australian rules football. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (1), 206–212. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000614>.
- Zatsiorsky, M. V. & Kraemer, W. J. (2006). *Science and Practice of Strength Training*. 2. painos. Champaign IL: Human Kinetics, 18-45.