

**SUURILLA KUORMILLA TOTEUTETUN VASTUSKELKKAHARJOITTELUN
VAIKUTUKSET KIIHDYTYSKYKYYN JA HORIZONTAALISEEN VOIMAN- JA
TEHONTUOTTOON JALKAPALLOILIJOILLA**

Toni Huuhka

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2024

TIIVISTELMÄ

Huuhka, T. 2024. Vastuskelkkaharjoittelun vaikutukset kiihdytyskykyyn ja horisontaaliseen voiman- ja tehontuottoon jalkapalloilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 62 s.

Jalkapallossa kiihdytyskyky on merkittävä tekijä otteluiden ratkaisevilla hetkillä ja otteluissa menestymisen taustalla. Kiihdytyskyky on osoitettu olevan riippuvainen urheilijan maksimaalisesta horisontaalisen voiman- ja tehontuotosta. Vastuskelkkaharjoittelun on osoitettu olevan tehokas harjoitusmuoto kehittämään näitä mekaanisia muuttujia mm. jalkapalloilijoiden kiihdytyskyvyn kehittämiseksi, mutta vastuskelkkaharjoittelussa käytettyjen kuormitusmallien valinta vaatii syvällisempää tutkimusta. Tässä pro gradu -tutkielmassa selvitetään kahden suurella kuormalla toteutetun kuormitusmallin vaikutuksia jalkapalloilijoiden kiihdytyskyvyn ja horisontaalisen voiman- ja tehontuoton kehittämiseksi.

Tässä tutkimuksessa toteutettiin 9 viikon vastuskelkka harjoitusinterventio ja tutkimuksen koehenkilöt muodostuivat yhdestä Suomen Veikkausliigassa pelaavasta joukkueesta. Tutkimuksessa käytettiin kirjallisuudessa esitettyjä ja luotettavaksi todettuja menetelmiä koehenkilöiden mekaanisten muuttujien ja kiihdytyskyvyn mittaamiseksi ja vastuskelkkaharjoittelussa käytettyjen kuormien määrittämiseksi. Koehenkilöt jaettiin kahteen ryhmään, joissa vastuskelkkaharjoittelun kuormitusmallit vastasivat joko 50 % (optimitehoryhmä) tai 60 % (maksimivoimaryhmä) laskua koehenkilöiden maksimaalisesta juoksunopeudesta. Alku- ja loppumittaukset sisälsivät mekaanisista muuttujista koehenkilöiden horisontaalisen voiman (F_0), tehon (P_{MAX}) ja nopeuden (V_0) sekä maksimaalisen 30 metrin juoksusuorituksesta saatujen väliaikojen (5, 10, 20, 30 metriä) analysoinnin.

Kumpikin ryhmä paransi harjoitusintervention seurauksena mekaanisista muuttujista maksimaalista horisontaalista voimaa (F_0 : $7,25 \pm 0,60$ vs. $7,85 \pm 0,54$ N/kg⁻¹), tehoa (P_{MAX} : $16,11 \pm 1,46$ vs. $17,68 \pm 1,62$ N/kg⁻¹) ja maksimaalista juoksunopeutta (V_0 : $8,98 \pm 0,43$ vs. $9,19 \pm 0,37$ m/s). Horisontaalisen voiman ja tehon osalta kummankin ryhmän parannukset olivat merkittäviä ($p < 0.05$), mutta ryhmien välisessä vertailussa ei löydetty selkeitä eroja ($p = 0.66$ ja 0.246) kyseisten muuttujien osalta. Kumpikin ryhmä paransi maksimaalisen juokсутestin kaikkia väliaikoja loppumittauksissa ($p < 0.05$), mutta ryhmien välisessä vertailussa ei ollut yhdenkään väliajan yhteydessä merkittäviä eroja ($p > 0.05$). Prosentuaaliset parannukset olivat kuitenkin hieman parempia sekä mekaanisten muuttujien, kuin myös juoksunväliaikojen osalta optimitehoryhmällä verrattuna maksimivoimaryhmään.

Tämän tutkimuksen perusteella suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu on tehokas harjoitusmuoto kehittämään jalkapalloilijoiden kiihdytyskykyä ja horisontaalista voiman- ja tehontuottoa. Tuloksien perusteella (prosentuaaliset parannukset) kuitenkin kuormitusmalli, joka vastaa 50 % nopeuden laskua maksimaalisesta juoksunopeudesta, antaa tehokkaamman stimuluksen jalkapalloilijoiden kiihdytyskyvyn ja siihen liitännäisten mekaanisten ominaisuuksien kehittämiseksi.

Avainsanat: Jalkapallo, kiihdytyskyky, horisontaalinen voima, horisontaalinen teho

ABSTARCT

Huuhka, T. 2024. Effects of heavy sled resistance training on acceleration ability and horizontal force and power production in football players. Faculty of sport and health sciences, University of Jyväskylä, master's thesis in sport coaching and fitness testing, 62 pages.

In Football, player's acceleration ability is an important factor in decisive moments of matches and in overall success. Acceleration ability has been shown to depend on an athlete's maximal horizontal force and power production. Sled resistance training has been demonstrated to be an effective training method for developing these mechanical variables, particularly to improve football players' acceleration ability. However, the selection of loading models used in sled resistance training requires further research. This master's thesis investigates the effects of two heavy-load training models for sled resistance training on improving acceleration ability and horizontal force and power production in football players.

A 9-week sled resistance training intervention was conducted, with the participants being from a team playing in Finland's first tier. The study employed methods proven reliable in the literature to measure participants' mechanical variables and acceleration ability, as well as to determine the loads used in sled resistance training. The participants were divided into two groups, with the loading models corresponding to either a 50% (optimal power group) or 60% (maximal force group) decrease in individual maximal running speed. Initial and final measurements included analysing participants' maximal horizontal force (F_0), power (P_{MAX}), speed (V_0), and the split times (5, 10, 20, 30 meters) from a maximal 30-meter sprint.

Both groups improved after training intervention from mechanical variables maximal horizontal force (F_0 : 7.25 ± 0.60 vs. 7.85 ± 0.54 N/kg⁻¹), power (P_{MAX} : 16.11 ± 1.46 vs. 17.68 ± 1.62 N/kg⁻¹), and maximal running speed (V_0 : 8.98 ± 0.43 vs. 9.19 ± 0.37 m/s). The improvements in horizontal force and power were significant for both groups ($p < 0.05$), but no clear differences were found between the groups in these variables ($p = 0.66$ and 0.246). Both groups improved all split times in the maximal running test during the final measurements ($p < 0.05$), but there were no significant differences between the groups in any of the split times ($p > 0.05$). However, the percentage improvements were slightly better in mechanical variables and running split times in the optimal power group compared to the maximal force group.

Based on the results of this study, sled resistance training with heavy loads is an effective training method for improving football players' acceleration ability and horizontal force and power production. However, based to the percentage improvements observed, the loading model corresponding to a 50% reduction in maximal running speed may provide a more effective stimulus for enhancing football players' acceleration ability and associated mechanical variables.

Keywords: Football, acceleration ability, horizontal force, horizontal power

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	1
2	JALKAPALLON FYYSISET VAATIMUKSET	3
2.1	Jalkapallon kehitys pelinä ja sen tuomat vaatimukset.....	3
2.2	Otteluiden yleiset fyysiset vaatimukset	5
2.2.1	Otteluiden korkean intensiteetit kiihdytykset ja sprinttisuoritukset	6
2.2.2	Kiihdytys- ja sprinttisuoritusten pelipaikkakohtaiset erot.....	7
3	NOPEUSOMINAISUUS	9
3.1	Kiihdytys- ja maksimaalinen huippunopeus	9
3.1.1	Kiihdytys- ja huippunopeuteen vaikuttavat tekijät.....	11
3.1.2	Kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen mekaanisten tekijöiden määrittäminen.....	16
4	NOPEUSHARJOITTELU.....	19
4.1	Vastuskelkkaharjoittelu	19
4.1.1	Vastuskelkkaharjoittelun vaikutukset kiihdytys- ja nopeusominaisuuksiin.....	22
4.1.2	Vastuskelkkaharjoittelun kuormien määrittäminen.....	24
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	29
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	31
6.1	Tutkimuksen koehenkilöt	31
6.2	Tutkimusasetelma.....	32
6.3	Ryhmäjako.....	34
6.4	Yksilöllisten vastuskelkkakuormien määrittäminen.....	34
6.5	Juoksun voima-nopeus-profiilitesti	36
6.6	Harjoitusohjelma ja aikataulutus	37

6.7 Tilastollinen analyysi.....	39
7 TULOKSET	40
7.1 Harjoitusmäärät ja poisjäännit	40
7.2 Juoksun voima-nopeusprofiilin mekaaniset muuttujat	40
7.3 Juoksun väliaikojen muutokset.....	42
8 POHDINTA.....	45
8.1 Voima-nopeus-profiilin muutokset	45
8.2 Juoksunopeuden muutokset.....	48
8.3 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	50
8.4 Jatkotutkimus aiheet	51
8.5 Loppupäätelmä	53
8.6 Käytännön sovellutukset	53
LÄHTEET	55

1 JOHDANTO

Jalkapallon taktinen evoluutio viimeisten vuosikymmenien aikana on johtanut pelinopeuden kasvuun ja tämän kehityksen oletetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Pelin nopeutuminen ja taktiset muutokset ovat lisänneet otteluissa pelaajien suorittamia korkean intensiteetin räjähtävien suoritusten kokonaismääriä. (Nassis ym. 2020; Harper ym. 2020.) Otteluissa varsinkin korkean intensiteetillä juokseminen ja räjähtävien suoritusten lisääntyminen on huomattavasti suurempaa suhteessa liikutun kokonaismatkan kasvuun (Barnes ym. 2014). Samalla näiden korkean intensiteetin suoritusten, kuten lineaarisen kiihdytyksen on todettu olevan merkittävässä roolissa otteluiden ratkaisevissa tilanteissa ja joissakin tutkimuksissa on osoitettu kiihdytys-suoritusten olevan yhteydessä otteluiden lopputulokseen. (Faude ym. 2012; Rhodes ym. 2021.) Tämän lisäksi otteluissa pelaajat suorittavat huomattavasti enemmän lyhyitä korkean intensiteetin kiihdytyksiä verrattuna sprinttisuorituksiin pidemmällä etäisyyksillä ja pelaajien nopeusominaisuuksien on osoitettu erottavan korkeamman tason pelaajat matalamman tason pelaajista (Lockie ym. 2012; Haugen ym. 2013). Näiden tietojen perusteella pelaajien nopeusominaisuuden kehittäminen tulee olla tärkeä osa valmentajilla harjoittelun ohjelmoinnissa ja suunnittelussa.

Tutkimuksissa on selvitetty kattavasti nopeuteen vaikuttavien tekijöiden merkitystä niin kiihdytys- kuin huippunopeusvaiheen osalta. (Mero ym. 1992; Delecluse ym. 1995; Morin ym. 2011; Rabita ym. 2015; Nagahara 2018.) Juoksun mekaanisista muuttujista horisontaalisen voiman- ja tehontuoton sekä voimantuoton tehokkaan suuntaamiseen on todettu olevan merkittäviä tekijöitä selittämään nopeampien urheilijoiden kiihdytyskykyä lyhyillä etäisyyksillä (Morin ym. 2011; Rabita ym. 2015; Nagahara ym. 2018). Vastusharjoittelun eri muodoista vastuskelkkaharjoittelu tarjoaa potentiaalisen harjoitusmuodon kyseisten mekaanisten muuttujien kehittämiseksi, sen mallintaessa varsinkin kiihdytysvaiheelle spesifisiä piirteitä (Alcaraz ym. 2009; Kawamori ym. 2014; Morin ym. 2017.). Aikaisemmat tutkimukset ovat suositelleet matalampien kuormien käyttöä vastuskelkkaharjoittelussa (Lockie ym. 2003; Alcaraz ym. 2009), kun puolestaan uudemmat tutkimukset ovat osoittaneet suuremmilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun hyödyistä kiihdytyskyvyn kehittämiseksi. (Kawamori ym. 2014; Morin ym. 2017). Optimaalisen kuorman, intensiteetin ja

harjoitusvolyymin määrittäminen vastuskelkkaharjoittelussa eri kohderyhmille vaatii kuitenkin tarkempaa tutkimista. (Morin ym. 2017; Gross, ym. 2017.)

Juoksun mekaanisten muuttujien mittaamisen menetelmät ovat aikaisemmin olleet käytännön valmennuksen ulottumattomissa, niiden vaatiessa kalliita laboratorio olosuhteita ja/tai kalliita testauslaitteita (Slawinski ym. 2015). Samozino ym. (2016) ovat kuitenkin kehittäneen yksinkertaisen kenttätestausmenetelmän mittaamaan ja arvioimaan juoksun mekaanisia muuttujia ainoastaan urheilijan antropometrisia ja spatioremporaalisia tietojen käyttäen. Kehitetty kenttätestausmenetelmä mahdollistaa luotettavasti horisontaalisen voiman- ja tehon, sekä voima-nopeus-yhteyden mittaamisen. (Samozino ym. 2016.) Cross ym. (2017) puolestaan kehittivät menetelmän, jonka avulla voidaan määrittää optimaalinen kuorma maksimaalisen tehotuoton määrittämiseksi vastuskelkkaharjoittelussa hyödyntämällä aikaisemmin kehitetty kenttätestausmenetelmää. (Cross ym. 2017).

Tämän pro-gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun vaikutuksia jalkapalloilijoiden horisontaaliseen voiman- ja tehotuottoon sekä nopeuden ja kiihdytyskyvyn kehittymiseen. Tutkimuksesta saaduilla tiedoilla pyritään lisäämään valmentajien tietoisuutta suurten kuormien hyödyntämisessä käytännön harjoittelun suunnittelussa ja ohjelmoinnissa jalkapalloilijoille oleellisen suorituskykytekijän, kiihdytyskyvyn kehittämiseksi.

2 JALKAPALLON FYYSISET VAATIMUKSET

2.1 Jalkapallon kehitys pelinä ja sen tuomat vaatimukset

Nykyaikainen, moderni jalkapallo muuttuu luonteeltaan jatkuvasti vaativammaksi pelaajien fyysisen suorituskyvyn näkökulmasta. Otteluiden vauhti, jota voidaan kuvata esimerkiksi syöttöjen määrällä minuutissa ja pallon liikenopeudella (m/s) ovat kasvaneet huomattavasti viimeisien vuosikymmenien aikana, ja tämän lisäksi pelaajien liikuttu matka otteluissa korkealla intensiteetillä sekä räjähtävien suoritusten määrä on lisääntynyt. (Nassim ym. 2020; Wallace ym. 2014; Barnes ym. 2014). Lajin taktisen kehityksen myötä on odotettavaa, että tulevaisuudessa joukkueet suorittavat otteluiden aikana entistä enemmän mm. korkean intensiteetin prässi- ja vastaprässitoimintoja sekä vastahyökkäyksiä, jotka voivat lisäävässä määrin vaikuttaa pelaajien suorittamiin korkean intensiteetin suorituksiin, kuten kiihdytyksien ja jarrutusten lukumäärään sekä korkean intensiteetin juoksumatkaan (Nassim ym. 2020; Harper ym. 2020).

Jalkapallossa joukkueen menestyminen on kompleksisten ja monitekijäisten seikkojen tulos ja teknisten ja taktisten indikaattoreiden on todettu selittävän joukkueen menestymistä paremmin verrattuna fyysisiin suorituskykytekijöihin (Di Salvo ym. 2009; Bush ym. 2015). Esimerkiksi Mestareiden Liigassa (UCL) pelaajien liikuttu kokonaismatka eri nopeusalueilla ottelun aikana ei ollut merkittävä ottelun lopputulosta selittävä tekijä (Modric ym. 2022). Puolestaan maalintekoyritysten määrä ja maalia kohti suuntautuneet laukaukset, syöttöjen määrä pallonhallinnan aikana ja pallonhallinnan kesto ovat olleet yhteydessä otteluiden lopputulokseen ja joukkueen menestykseen kilpakauden aikana (Gonzalez-Rodenas ym.2023). Tämän lisäksi joukkueen nopeampi toiminta voittaa uudelleen pallonhallinta takaisin vastustajalta eli lyhyempi puolustusvaiheen reaktioaika, sekä tehokkaampi vastaprässi vastustajan kenttäpuoliskolla ovat korreloineet positiivisesti joukkueen sarjasijoituksen kanssa Saksan Bundesliigassa (Bauer & Anzer 2021).

Tutkimuksissa, joissa on vertailtu fyysisten suorituskykytekijöiden yhteyttä joukkueen menestykseen ja ottelun lopputulokseen, on käytetty suhteellisia nopeusalueita ja kyseisillä

intensiteettialueilla liikuttua kokonaismatkaa (Di Salvo ym. 2009; Modric ym. 2022) ja tämä puolestaan jättää huomioimatta monia ottelussa suoritettuja korkean intensiteetin räjähtäviä suorituksia, kuten korkean intensiteetin kiihdytykset, jarrutukset ja suunnanmuutokset. (Rhodes ym.2021; Harper ym. 2019). Esimerkiksi Rhodes, ym. (2021) ovat osoittaneet korkean intensiteetin räjähtävien suoritusten korreloivan joukkueen menestyksen kanssa. Tutkijat raportoivat joukkueen suorittavan enemmän korkean intensiteetin kiihdytyksiä ja jarrutuksia voitetuissa otteluissa verrattuna tappiollisiin tai tasapeliin päättyneisiin otteluihin Englannin kolmanneksi korkeimmalla sarjatasolla (EFL Two) (Rhodes ym. 2022).

Vaikka tutkimusnäyttö antaa eriäviä tuloksia fyysisten suorituskykytekijöiden merkityksestä joukkueen menestymisen kannalta jalkapallossa (Modric ym.2022; Di Salvo ym. 2009; Rhodes ym. 2021), on niillä kuitenkin suuri vaikutus pelaajien teknisen pätevyyden ja kokonaisvaltaisen suorituskyvyn näkökulmasta (Bush, ym. 2015). Korkean intensiteetin suoritukset, kuten kiihdytykset ovat tärkeitä toimintoja otteluissa menestymisen kannalta, mahdollistaen pelaajien sopeutumisen joukkueen taktisiin vaatimuksiin, luoda ja estää maalintekoyrityksiä, ohittaa vastustajia sekä voittaa kaksinkamppailuja (Di Salvo ym. 2009; Rhodes ym. 2021). Tutkimuksissa on esimerkiksi osoitettu jalkapallossa lineaarisen kiihdytyksen olevan yleisin yksittäinen liikkumistoiminto maaliin johtaneissa tilanteissa, niin maalintekijällä, kuin maalin syöttävällä pelaajalla. Kyky kiihdyttää nopeasti mahdollistaa pelaajan saavuttaa etu vastustajaan nähden ja saapua ensimmäisenä tyhjään tilaan maalintekotilanteissa. (Faude ym. 2012; Martinez-Hernandez ym. 2022.)

Tämän lisäksi jalkapallossa korkean tason pelaajat ovat nykyään entistä nopeampia, joten juoksun kiihdytys- ja korkean huippunopeuden saavuttaminen ovat entistä tärkeämpiä tekijöitä modernissa jalkapallossa, kun halutaan saavuttaa etu suhteessa vastustajaan ottelun tärkeissä tilanteissa (Haugen, ym. 2018; Rhodes ym. 2021). Tämän lisäksi Haugen ym. (2013) ovat osoittaneet nopeusominaisuuksien erottavan korkean tason pelaajat matalamman tason pelaajista (Haugen ym. 2013). Tulevaisuudessa nopeusominaisuus yhtenä tekijänä oletetaan olevan myös merkittävässä roolissa seurojen ja joukkueiden prosessia uusien ja potentiaalisten pelaajien rekrytoinnissa (Nassim ym. 2020.), ja tämä korostaen entisestään nopeusominaisuuksien merkitystä modernissa jalkapallossa.

2.2 Otteluiden yleiset fyysiset vaatimukset

Jalkapalloa voidaan luonnehtia fyysisesti haastavaksi joukkuepeliksi, jossa pelaajat suorittavat otteluiden aikana paljon korkean intensiteetin toimintoja, kuten kiihdytyksiä, jarrutuksia, suunnanmuutoksia, spurtteja, taklauksia ja hyppyjä, ja näiden toimintojen välille muodostuu matalamman intensiteetin aktiivisia ja passiivisia palauttavia vaiheita (seisomista, kävelyä ja matalan intensiteetin juoksua). (Gualtieri ym. 2022; Rampinini ym. 2007.) Pelianalyysien perusteella eliittitason jalkapalloilijat juoksevat 90 minuutin ottelun aikana noin 9–14 kilometriä kokonaismatkaa otteluiden aikana ja liikutusta kokonaismatkasta 7–12 % juostaan korkealla intensiteetillä ja 1–4 % lähellä pelaajien maksimaalista huippunopeutta, ja tämän lisäksi pelaajat suorittavat jopa yli 250 lyhyttä ja nopeaa erilaista pelitilanne toimintaa (Bangsbo ym. 2006; Haugen ym. 2014; Wonwoo 2022). Jalkapallo-otteluun vaaditusta energiantuotosta pelaajat käyttävät noin 90 % aerobista energiantuottomekanismia, mutta otteluun sisältyvissä jaksoissa, joissa toteutetaan tiheästi lyhyitä, lähes maksimaalisia korkean intensiteetin suorituksia (mm. kiihdytyksiä, sprinttejä, suunnanmuutoksia) veren laktaattiarvot voivat nousta korkeisiin lukemiin viitaten korkeista anaerobisen energiantuoton vaatimuksista jalkapallo-otteluiden yhteydessä (Krustrup ym. 2005; Wonwoo 2022).

Modernissa, eliittitason jalkapallossa pelaajilta vaaditaan siis monipuolisesti korkean tason fyysisiä valmiuksia mm. kestävyuden, nopeuden, voiman ja koordinaation osalta. (Chmura ym. 2015; Modric ym. 2020). Erilaisten video- ja GPS-seurantajärjestelmien yleistyessä pelaajien kuormitusta, liikkumista ja pelipaikkakohtaisia vaatimuksia sekä eroavaisuuksia on pystytty mittamaan ja analysoimaan kattavammin useiden eri kilpailujen yhteydessä, ja tämän tiedon avulla joukkuetta ja pelaajia voidaan valmistaa lajin asettamiin sekä pelipaikkakohtaisiin fyysisiin vaatimuksiin (Sweeting ym. 2017; Wonwoo 2022). Seurantajärjestelmien avulla on pystytty osoittamaan liikutun kokonaismatkan lisääntyneen vain 2–4 % viimeisten vuosikymmenien aikana, kun puolestaan korkean intensiteetin juoksemisen ja räjähtävien suoritusten määrä on lisääntynyt tutkimusten mukaan jopa 30–50 %. Samalla kun korkean intensiteetin juoksu- ja räjähtävät suoritukset kuvastavat paremmin modernin jalkapallo-otteluiden fyysisiä vaatimuksia verrattuna liikuttuun kokonaismatkaan, ovat niiden merkitys myös oleellisempia pelaajien ja joukkueiden menestymisen kannalta otteluiden yhteydessä. (Barnes ym. 2014; Faude ym. 2012; Wonwoo 2022.)

2.2.1 Otteluiden korkean intensiteetit kiihdytykset ja sprinttisuoritukset

Jalkapallossa maksimaalinen juoksunopeus on tärkeä ominaisuus, mutta kiihdytyskyky on suhteellisesti merkittävämpi, sillä pelaajat suorittavat otteluissa paljon lyhyitä kiihdytyksiä eli korkean juoksunopeuden saavuttaminen lyhyellä matkalla on oleellinen tekijä jalkapalloilijoilla (Spinks, ym. 2007; Lockie, ym. 2012). Tutkimukset ovat osoittaneet pelaajien suorittavat otteluiden aikana määrällisesti huomattavasti enemmän korkean intensiteetin kiihdytysuorituksia verrattuna sprinttisuorituksiin (Tierney ym. 2017; Oliva-Lozano ym. 2020). Esimerkiksi Varley & Aughey (2013) raportoivat jalkapalloilijoiden suorittavan kahdeksan kertaa enemmän korkean intensiteetin kiihdytyksiä verrattuna sprinttisuorituksiin (Varley & Aughey 2013). Tämän lisäksi korkeamman tason sarjoissa on osoitettu pelaajien suorittavan enemmän korkean intensiteetin kiihdytyksiä verrattuna matalamman standardin sarjoihin (Ingebrigtsen ym. 2015). Palloilulajien vertailussa jalkapalloilijat suorittavat toiseksi eniten korkean intensiteetin kiihdytyksiin ($>2,5 \text{ ms}^2$) käytettyä keskimääräistä kokonaismatkaa (178 m) otteluiden aikana (enemmän vain australialaisessa jalkapallossa, 194 m) (Harper ym. 2019).

Eliittitason miesjalkapalloilijoiden absoluuttiset juoksumatkat puolestaan korkealla intensiteetillä ($>19,8 \text{ km/h}$) ovat noin 618-1001 metriä ja sprinttimatkaa ($>25,1 \text{ km/h}$) kertyy noin 153–295 metriä ottelua kohden (Andrzejewski ym. 2013). Andrzejewski ym. (2013) käyttivät sprinttisuorituksen kynnysarvona $24,0 \text{ km/h}$ ja osoittivat mestareiden liigassa pelanneiden joukkueiden pelaajien suorittavan keskimäärin $11,2 \pm 5,3$ sprinttisuoritusta otteluiden aikana, joista 90 % oli kestoltaan alle 5 sekuntia. Suurin osa sprinttisuoritusten matkasta asettui 10–20 metrin välille. Otteluanalyysien osoittaessa, että yli 90 % otteluissa suoritetuista spinteistä on lyhyempiä kuin 20 metriä, korostaa tämä kiihdytyskyvyn merkitystä jalkapalloilijalla (Andrzejewski ym. 2013; Haugen, ym. 2014). Suorat kiihdytykset ja hypyt ovat yleisesti toistuvia toimintoja otteluissa maalien syntytilanteissa, niin maalintekijällä kuin syöttäjällä. Esimerkiksi Saksan Bundesliigassa 45 % syntyneistä maaleista edelsi suora kiihdytys maalintekijältä ja suora kiihdytys oli myös maalin syöttäneen pelaajan yleisin toiminto (yleensä pallon kanssa). (Haugen, ym. 2014; Haugen, ym. 2018.)

Uudemmassa tutkimuksessa Oliva-Lozano ym. (2022) puolestaan raportoi sprinttisuoritusten keskimääräiseksi kestoksi 4,9–9,0 sekuntia ja sprinttien matka vaihteli 30–55 metrin välillä Espanjan korkeimmalla sarjatasolla (La Liga). Tutkimuksessa pelaajien keskimääräiseksi nopeudeksi sprinttien yhteydessä mitattiin 30,12–32,8 km/h. (Oliva-Lozano ym. 2022.) Eroavaisuudet tutkimustuloksien, esimerkiksi sprinttimatkojen ja kestojen suhteen selittyvät tutkimuksissa käytetyistä kynnsarvoista sprinttisuorituksen määrittämiseksi (24,0 km/h vs. 30,0 km/h) (Oliva-Lozano ym. 2022; Andrzejewski ym. 2013).

2.2.2 Kiihdytys- ja sprinttisuoritusten pelipaikkakohtaiset erot

Pelipaikkakohtaisten fyysisten vaatimusten määrittäminen jalkapallossa on oleellista, jotta valmentajat pystyvät valmistamaan pelaajat joukkueen ja pelin tuomiin taktisiin, sekä fyysisiin vaatimuksiin (Tierney ym. 2017; Oliva-Lozano ym. 2020). Minano ym. (2017) raportoivat tutkimuksessaan laitapelaajien (laitahyökkääjät ja laitapuolustajat) juoksevat eniten sprinttimatkaa ja suorittavan määrällisesti enemmän sprinttisuorituksia verrattuna keskisektorin pelaajiin (keskuspuolustajat, keskikenttäpelaajat, hyökkääjät). Barnes ym. (2014) ja Bush ym. (2014) osoittivat vastaavasti laitahyökkääjien ja hyökkääjien suorittavan suurimmat sprinttimatkat prosentuaalisesti suhteutettuna ottelussa liikuttuun kokonaismatkaan verrattuna keskuspuolustajiin ja keskikenttäpelaajiin. (Barnes, ym. 2014. Bush, ym. 2015). Laitahyökkääjien on myös osoitettu saavuttavan suurimmat huippunopeudet otteluiden aikana, ja puolestaan keskikenttä pelaajien huippunopeus arvot ovat raportoitu alhaisimmiksi. (Olivia-Lozano ym 2020).

Laitahyökkääjien on todettu liikkuvan kiihdyttämiseen käytetystä kokonaismatkasta suurimman määrän verrattuna hyökkääjiin, keskikenttäpelaajiin ja keskuspuolustajiin. Samalla laitahyökkääjät on osoitettu suorittavan enemmän korkean intensiteetin kiihdytyksiä ($ACC_{HIGH} > 3 \text{ m/s}^2$) määrällisesti verrattuna keskuspuolustajiin ja keskikenttäpelaajiin. Keskikenttäpelaajat puolestaan suorittavat määrällisesti matalamman intensiteetin kiihdytyksiä ($ACC_{LOW} < 3 \text{ m/s}^2$) enemmän kuin laitahyökkääjät, mutta kiihdyttämiseen käytetty kokonaismatka (ACC_{DIS}) on matalampi laitahyökkääjiin ja laitapuolustajiin verrattuna. (Oliva-Lozano ym. 2020.) Kuvassa 1 on esitetty pelipaikkakohtaisia eroavaisuuksia kiihdytysprofiilien osalta.

Variables	Position					p	ES
	CD (M ± SD)	FB (M ± SD)	MF (M ± SD)	WMF (M ± SD)	FW (M ± SD)		
ACC _{DIS} (m)	290.8 ± 76.0 ^d	351.3 ± 99.3 ^{cd}	260.7 ± 64.1 ^{bd}	436.5 ± 86.3 ^{abce}	333.6 ± 118.1 ^d	0.01	0.17–2.32
DEC _{DIS} (m)	229.9 ± 43.0 ^d	271.2 ± 66.3	228.7 ± 54.5 ^d	334.4 ± 74.5 ^{ace}	259.2 ± 55.9 ^d	0.01	0.03–1.72
ACC _{LOW} (total)	354.7 ± 54.5 ^c	378.1 ± 45.8	405.9 ± 61.9 ^{ade}	343.8 ± 48.0 ^c	351.7 ± 46.2 ^c	0.01	0.06–1.11
ACC _{HIGH} (total)	26.5 ± 6.1 ^d	30.4 ± 7.6	27.1 ± 5.5 ^d	34.9 ± 6.7 ^{ac}	29.9 ± 9.6	0.02	0.06–1.32
DEC _{LOW} (total)	355.9 ± 46.9	371.6 ± 45.9	387.4 ± 59.0 ^{de}	343.5 ± 15.8 ^c	340.6 ± 40.1 ^c	0.01	0.06–0.92
DEC _{HIGH} (total)	50.9 ± 8.6 ^d	54.1 ± 13.3	54.8 ± 12.4	64.5 ± 15.8 ^a	55.2 ± 12.1	0.02	0.04–1.07
DIFF _{ACDC} (total)	-24.4 ± 7.8	-23.7 ± 11.0	-27.7 ± 11.6	-29.5 ± 13.5	-25.3 ± 10.0	0.33	0.07–0.47
ACC _{AVG} (m/s ²)	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.56	0.03–0.22
DEC _{AVG} (m/s ²)	-0.6 ± 0.1	-0.6 ± 0.1	-0.6 ± 0.1	-0.6 ± 0.1	-0.6 ± 0.1	0.76	0.01–0.26
ACC _{MAX} (m/s ²)	4.5 ± 0.4	4.5 ± 0.3	4.4 ± 0.6 ^d	4.70 ± 0.31 ^c	4.5 ± 0.6	0.01	0.06–0.67
DEC _{MAX} (m/s ²)	-5.7 ± 0.5 ^e	-6.1 ± 0.6	-5.8 ± 0.8 ^d	-6.20 ± 0.9 ^c	-6.3 ± 0.9 ^a	0.04	0.11–0.77

KUVA 1. Pelipaikkakohtaiset eroavaisuudet kiihdytysprofiilissa Espanjan korkeimman sarjatason pelaajilla. ACC_{DIS}, kiihdyttämiseen käytetty kokonaismatka; ACC_{LOW}, kiihdytysten lukumäärä (<3,0 m/s²); ACC_{HIGH}, kiihdytysten lukumäärä (>3,0 m/s²); CD, keskuspuolustajat; FB, laitapuolustajat; MF, keskikenttäpelaajat; WMF; laitahyökkääjät; FW, keskushyökkääjät. (Oliva-Lozano ym. 2020.)

Pelipaikkakohtaisiin eroavaisuuksiin vaikuttaa useat kontekstuaaliset tekijät, kuten joukkueen käyttämä formaatio, ottelun tulos ja taktiikka (Bradley ym. 2011; Aquino ym. 2017), mutta näitä seikkoja ei käsitellä tarkemmin tässä tutkielmassa.

3 NOPEUSOMINAISUUS

Kiihdytyskyky ja maksimaalinen juoksunopeus ovat oleellisia suorituskykytekijöitä useissa eri lajeissa. Yleisurheilun pikajuoksulajeissa urheilija, joka pystyy saavuttamaan suurimman keskiarvonopeuden tietyllä juoksumatkalla voittaa kanssa kilpailijat. (Moir 2015.) Tämän lisäksi palloilulajeissa, kuten jalkapallo, nopeusominaisuus on merkittävässä roolissa otteluiden ratkaisevissa tilanteissa (mm. maalinteko, maalinteon estäminen) ja nopeusominaisuuksien on osoitettu myös erottavan korkean tason pelaajat matalamman tason pelaajista (Faude ym. 2012; Haugen ym. 2013) ja tämä osoittaa nopeusominaisuuksien tärkeyden urheilijoiden menestymisen kannalta sekä niiden kehittämiseen tähtäävän harjoittelun näkökulmasta (Moir ym. 2015). Varsinkin kiihdytyskyvyn osalta on erittäin tärkeää urheilijoiden kyky tuottaa suurta mekaanista tehoa. Korkean tehon saavuttaminen on puolestaan riippuvainen urheilijan hermo- lihasjärjestelmän kyvystä tuottaa suuria voimia, voiman tehokkaasta suuntaamisesta vallitsevassa ympäristössä (mm. juoksualusta) sekä mahdollisimman korkeasta lihasten supistumisnopeudesta. Tämän myötä voima ja nopeus ovat määritetty mekaanisen tehontuoton perusominaisuuksiksi urheilijoiden liikesuorituksissa (Cormie ym. 2011; Morin & Samozino 2016).

3.1 Kiihdytys- ja maksimaalinen huippunopeus

Yleisurheilussa pikajuoksusuoritus voidaan luokitella kolmeen eri vaiheeseen: 1) kiihdytys-, 2) huippunopeuden saavuttamisen- ja 3) huippunopeuden ylläpitämisen (tai hidastumisen-) vaiheeseen (Mero ym. 1992; Delecluse ym. 1995; Moir 2015). Juoksun kiihdytysvaihe määritetään juoksunopeuden muutoksena ja maksimaalinen juoksunopeuden vaihe huippunopeutena, jolloin kiihdytysnopeus on lähellä nollaa. Eliittitason pikajuoksijoiden kiihdytysvaiheen on osoitettu olevan noin 60–80 metriä ennen huippunopeuden saavuttamista 100 metrin pikajuoksussa, kun puolestaan esimerkiksi yliopistotason yleisurheilijoiden ja ei harjoitelleiden juoksijoiden on osoitettu saavuttavan huippunopeus huomattavasti aikaisemmin (23–35 metrin välillä) (Delecluse ym.1995; Moir ym. 2015; Nagahara ym. 2018). Joukkueurheilijoiden on raportoitu saavuttavan maksimaalinen juoksunopeus noin 30–40 metrin välillä staattista lähtöä käytettäessä (Sims 2017).

Yleisurheilussa pikajuoksijoiden kiihdytysvaihe alkaa urheilijoiden reagoimassa lähtölaukaukseen, kun puolestaan palloilulajeissa yleisesti ottaen pelaajat reagoivat ulkoiseen ärsykkeeseen ja havainnoituun informaation (esim. vastustajan toiminta), joka edeltää kiihdytys-suorituksia (Mero ym. 1992; Young ym. 2015). Otteluiden yhteydessä saavutettuja huippunopeus tilanteita yleisesti edeltää pelaajien liikkuminen jo tietyllä juoksunopeudella (Sims 2017; Di Salvo 2007). Joukkueurheilussa, kuten jalkapallo, sprinttisuoritukset jäävät myös suuremmissa määrin lyhyiksi (<30 metriä, 2–4 sekuntia), jolloin luokittelun perusteella ollaan vielä kiihdytysvaiheessa (Sims 2017).

Kinemaattisista muuttujista askeltiheys, askelpituus, lentoaika ja jarrutusvaiheet muuttuvat merkittävästi kiihdytys- ja huippunopeusvaiheiden aikana (Yu, ym. 2016). Nopeuden ollessa askeltiheyden ja askelpituuden tulo, teoreettisesti parantamalla toista tekijää voidaan parantaa urheilijan nopeusominaisuutta (Sims 2017). Tutkimuksissa on löydetty eriäviä tuloksia askeltiheyden ja askelfrekvenssin merkityksestä juoksunopeuden lisääminen suhteen huippunopeusvaiheessa. Joissakin tutkimuksissa on korostettu askelpituuden lisäämisen merkitystä, kun taas toisissa askelfrekvenssin lisäämistä maksimaalisen juoksunopeuden kannalta. (Bezodis 2012; Mero & Komi 1985; Mann & Herman 1985.) Lyhyillä etäisyyksillä puolestaan on osoitettu askelpituuden selittävän merkittävästi nopeuden muutosta eli kiihdytyskykyä (Hunter ym. 2004). Askeltiheyden on osoitettu saavuttavan noin 90 % maksimaalisesta askeltiheydestä jo kolmannelle askeleella kiihdytyksen aloituksesta harjoitelleilla urheilijoilla, joten selittyy nopeuden lisääntyminen tämän jälkeen lähes yksinomaan askelpituuden lisääntymisellä. Askelpituuden lisääntymiseen ja spatiotemporaalisiin muutoksiin puolestaan vaikuttaa merkittävästi mekaaniset tekijät. (Rabita ym. 2015.)

Kiihdytysvaiheessa askelkontaktiajat ovat pidempiä verrattuna juoksun huippunopeusvaiheeseen, joka mahdollistaa pidentyneet ajan voimantuotolle ja samalla lisää impulssin määrää. Impulssi on voiman ja ajan tulo, joka suoraan määrittää juoksunopeuden muutoksen. Impulssin lisääminen kasvattamalla kontaktiajan pituutta ei kuitenkaan ole suosiollista varsinkaan huippunopeusvaiheessa, kun tietty horisontaalinen etäisyys halutaan edetä mahdollisimman nopeasti. Huipputasoinen pikajuoksijoiden onkin raportoitu lyhyempien

huippunopeusvaiheen kontaktiaikojen olevan yhteydessä suurempaan horisontaaliseen nopeuteen. (Kawamori ym. 2013; Wild ym. 2011.)

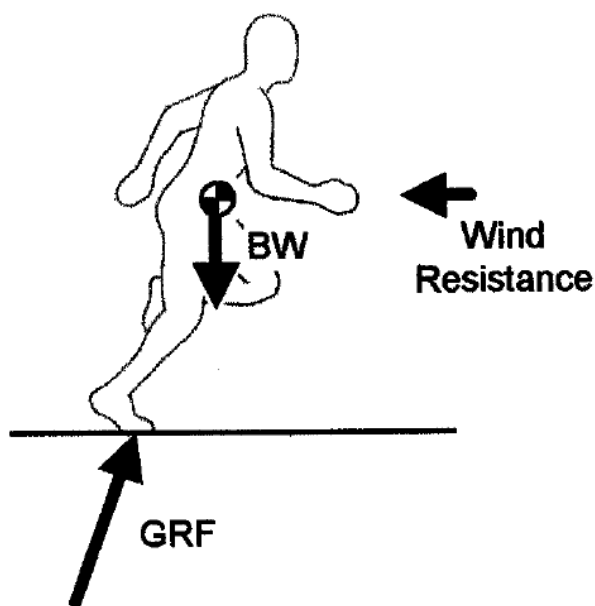
Kirjallisuudessa on pyritty tarkemmin tutkimaan näiden eri vaiheiden (kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen) biomekaanisia ja fyysisiä vaatimuksia, joka mm. mahdollistaa oleellisen tiedon hyödyntämistä harjoittelun suunnittelussa ja ohjelmoinnissa urheilijoiden nopeusominaisuuksien kehittämisen kannalta (Yu ym. 2016; Morin ym. 2011; Rabita ym. 2015). Seuraavaksi tarkastellaan kiihdys- ja maksimaaliseen juoksunopeuteen vaikuttavia tekijöitä mekaanisten muuttujien näkökulmasta.

3.1.1 Kiihdytys- ja huippunopeuteen vaikuttavat tekijät

Biomekaanisiin muuttujiin, jotka vaikuttavat sprinttisuoritukseen lukeutuu mm. reaktioaika, voimantuotto-ominaisuus, maanreaktivoimat, EMG-aktiivisuus ja neuraaliset tekijät sekä lihasten rakenne. Ulkoisiin vaikuttaviin tekijöihin lukeutuu puolestaan juoksualusta sekä kengät. (Mero ym. 1992). Aikaisemmassa kirjallisuudessa on selvitetty kattavasti nopeusominaisuuteen vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä (Weyand ym. 2000; Hunter ym. 2005) ja tutkimus menetelmien kehityttyä tietämystä mekaanisten tekijöiden, kuten maanreaktivoimien yhteyttä kiihdytys- ja huippunopeuden taustalla on vielä syvemmin pystytty tutkimaan. (Rabita ym. 2015; Slawinski ym. 2015; Nagahara ym. 2018.)

Juoksijan massakeskipisteen kiihtyvyyteen vaikuttaa kolme ulkoista voimaa; maanreaktivoimat (GRF), painovoima ja tuulenvastus (Kuva 2.), ja näistä urheilijalla on suurin mahdollisuus vaikuttaa maanreaktivoimiin. Juoksunopeuden ja sprinttisuorituskyvyn näkökulmasta horisontaalinen (anteorinen-posteriorinen) ja vertikaalinen GRF komponentti ovat kaikista kiinnostavimmat. Näistä horisontaalinen komponentti voidaan jakaa vielä kahteen osatekijään: jarruttava GRF (braking GRF), joka ilmenee askelkontaktin alkuvaiheessa kiihdytyksen aikana, sekä työntävä GRF (propulsive GRF), joka puolestaan esiintyy askelkontaktin myöhäisemmässä vaiheessa kiihdytyksen yhteydessä. (Hunter ym. 2005.) Jarruttavista ja työntävistä maanreaktivoimista horisontaaliseen suuntaan on myös käytetty

nimitystä negatiivinen- ja positiivinen horisontaalinen voima (F_H), joista ensimmäinen kuvastaa jarruttavaa ja jälkimmäinen työntävää horisontaalista GRF:n komponenttia (Morin ym. 2011).

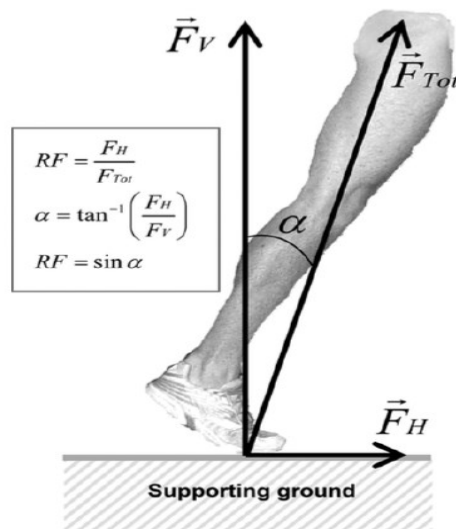


KUVA 2. Havainnollistava kuva urheilijaan vaikuttavista ulkoisista voimista juoksun kiihdytysvaiheessa. Maanreaktiovoimat koostuvat vertikaalisesta ja horisontaalisesta komponentista, joista jälkimmäinen voidaan jakaa jarruttavaan ja työntävään komponenttiin. GRF, maanreaktiovoimat; BW, kehonpaino. (Hunter ym. 2005.)

Aikaisemmassa kirjallisuudessa on yleisesti suositeltu urheilijoiden pyrkiä minimoimaan jarruttava (negatiivinen) horisontaalinen GRF ja maksimoimaan horisontaalinen työntävä (positiivinen) GRF paremman kiihdytys suorituskyvyn kannalta, sillä vain tämä komponentti johtaa liikkeen kiihdytykseen horisontaalisessa suunnassa ja mahdollistaa korkean juoksunopeuden saavuttamisen. Tämän lisäksi juoksun huippunopeusvaiheen yhteydessä korkean vertikaalisen GRF:n ja lyhyen kontaktiajan saavuttaminen on katsottu olevan hyödyllinen sprinttisuorituskyvyn kannalta. (Mero ym. 1992; Weyand ym. 2000; Hunter ym.2005; Yu ym. 2016.)

Weyand ym. (2000) osoittivat tutkimuksessaan nopeampien urheilijoiden tuottavan suuremman vertikaalisen maanreaktiovoiman suhteutettuna kehonpainoon juoksuaskeleen tukivaiheen aikana huippunopeusvaiheessa ja näin vertikaalisen komponentin määritettiin olevan oleellinen tekijä selittämään sprintin huippunopeusvaiheen suorituskykyä urheilijoiden välillä. (Weyand ym. 2000). Suurin heikkous tutkimuksessa käytettyjen menetelmien osalta on, että maanreaktiovoimista ainoastaan vertikaalinen komponentti on analysoitu, jolloin horisontaalisen komponentin merkitystä ei voitu selittää huippunopeus- tai sitä edeltävästä kiihdytysvaiheesta (Weyand ym. 2000; Slawinski 2015).

Morinin ym. (2011, 2012) tutkimuksissa on selvitetty maahan kohdistuneiden voimien suhdetta pikajuoksusuorituksen askelkontaktivaiheiden aikana (mean ratio of forces applied to the ground, RF), jonka avulla voidaan lisätä ymmärrystä urheilijoiden voimantuotto-ominaisuuksiin liittyvästä teknisestä kyvykkyydestä kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen yhteydessä. RF on määritetty horisontaalisen voiman (F_H) suhteeksi maahan tuotetun kokonaisreaktiovoiman (F_{TOT}) osalta askelkontaktin tukivaiheen aikana, ollen näin riippumaton maahan tuotetusta kokonaisvoimasta. Kuvassa 3. on esitetty matemaattinen kaava maahan kohdistuneiden voimien suhteesta kokonaisreaktiovoiman (F_{TOT}) ja horisontaalisen voiman (F_H) osalta. Tutkimustulokset osoittivat RF:n ja erityisesti kyvyn ylläpitää korkeampaa RF % juoksunopeuden kasvaessa korreloivan merkittävästi 100 metrin sprinttisuorituksen kanssa, kun puolestaan kokonaisreaktiovoimien osalta yhteyttä ei löytynyt. Tämän lisäksi suurempi positiivinen horisontaalinen voiman- ja tehontuotto (F_H, P_{MAX}) oli yhteydessä parempaan kenttätestien 100 metrin huippunopeuteen sekä 4 sekunnin aikana saavutettuun maksimaalisen etäisyyteen. Maanreaktiovoimien vertikaalisen komponentin (F_V) osoitettiin korreloivan ainoastaan maksimaalisen huippunopeuden kanssa. Näiden tulosten valossa urheilijoiden kyky tehokkaasti tuottaa voimaa horisontaalisessa suunnassa on merkittävä tekijä suorituskyvyn kannalta huipputasen pikajuoksijoilla. (Morin ym. 2011; Morin ym. 2012.) Kugler ja Jahnsen (2010) osoittivat nopeampien juoksijoiden pystyvän ylläpitämään eteenpäin nojaavaa asentoa pidempään kiihdytysvaiheen aikana. Tämä todennäköisesti mahdollistaa pienemmän laskun RF:n osalta ja näin johtaa suurempien nopeuksien saavuttamiseen tehokkaan voiman suuntaamisen myötä kiihdytysvaiheessa. (Kugler & Jahnsen 2010; Morin ym. 2011.)



KUVA 3. Havainnollistava kuva maahan kohdistuneiden voimien suhteesta (RF) ja matemaattisesta kaavasta kokonaisreaktivoiman (F_{TOT}) ja horisontaalisen voiman (F_H) osalta. (Morin ym. 2011.)

Vaikka näissä kahdessa tutkimuksessa (Morin ym. 2011; Morin ym. 2012) pystyttiin käyttämään eliittitason pikajuoksijoita koehenkilöinä ja määrittämään mekaanisia muuttujia maan reaktivoimista myös horisontaalisen komponentin osalta, sisältyi käytettyihin tutkimusmenetelmiin myös rajoitteensa. Ensinnäkin koehenkilöt suorittivat sprinttisuoritukset juoksumatolla, jossa kiihdytysvaiheen lähtöasento ei vastaa todellista pikajuoksusuorituksen lähtöasentoa ennen kiihdytysvaihetta, varsinkin kun tämän vaiheen on todettu olevan merkittävä tekijä 60- ja 100 metrin pikajuoksusuorituksissa. Tämän lisäksi koehenkilöiden saavutetut maksimaaliset huippunopeudet olivat merkittävästi matalampia verrattuna juoksuradalla mitattuihin vastaaviin lukemiin. (Rabita ym. 2015; Slawinski ym. 2015.)

Uudemmissa tutkimuksissa on pystytty hyödyntämään ainutlaatuista tilannetta, joissa on käytetty kenttäolosuhteiden yhteyteen, tartaanille asennettuja voimalevyjä kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Näiden menetelmien avulla ensimmäistä kertaa on mahdollistettu mekaanisten tekijöiden mittaaminen ja analysoiminen kenttäolosuhteissa pikajuoksusuorituksen kiihdytys- ja huippunopeusvaiheesta. (Rabita ym. 2015; Nagahara ym. 2018.) Rabitan ym. (2015) tutkimuksessa koehenkilöt muodostuivat neljästä maailman eliittitason ja yhdeksästä sub-eliittitason pikajuoksijasta.

Tutkijat osoittivat voimankäytön tehokkuuden selittävän eroavaisuudet eliittitason pikajuoksijoiden ja sub-eliittitason pikajuoksijoiden välillä. Eliittitason pikajuoksijat pystyivät tuottamaan suuremman horisontaalisuunnan kokonaisvoiman (F_H) verrattuna sub-eliittitason pikajuoksijoihin, kun puolestaan kokonais-maanreaktiovoimat (resultant GRF) eivät selittäneet ryhmien välisiä eroavaisuuksia kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen yhteydessä. (Rabita ym. 2015.)

Nagaharan ym. (2018) tutkimustulokset ovat linjassa Rabitan ym. (2015) tutkimustulosten kanssa. Tutkijat käyttivät 52 metrin matkalle asetettuja voimalevyjä (1000 Hz) selvittämään kansallisen tason yliopistourheilijoiden (11.28 ± 0.36 sekuntia 100 metrin parhaat kisa-ajat) juoksun mekaanisia ominaisuuksia niin kiihdytys- kuin huippunopeusvaiheen yhteydessä. Tutkimustulokset osoittivat suuremman työntävän ja pienemmän jarruttavan horisontaalisen impulssin, sekä matalamman vertikaalisen impulssin olevan paremman kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen yhteydessä. Jarruttavan horisontaalisen impulssin merkitys kuitenkin korostui enemmän vasta 75 % kohdalla juoksun huippunopeudesta kiihdytysvaiheen aikana sekä huippunopeuden yhteydessä. Tämän lisäksi tulokset osoittivat suuremman vertikaalisen voiman (F_V) selittävän saavutettua huippunopeutta vertikaalista impulssia paremmin. Teoreettisesti tämä selittyy huippunopeusvaiheen lyhyellä kontaktiajalla, jolloin urheilijan tulee tuottaa suuria vertikaalisia reaktiovoimia lyhyessä ajassa. (Nagahara ym. 2018.) Myös Colyer ym. (2018) ovat osoittaneet omassa tutkimuksessaan paremman tason pikajuoksijoilla esiintyvän vähemmän jarruttavia voimia juoksun huippunopeusvaiheessa (Colyer ym. 2018).

Aikaisemmissa tutkimuksissa on pääasiassa käytetty koehenkilöinä eri tasoisia yleisurheiluun, ennen kaikkea pikajuoksuun erikoistuneita urheilijoita kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi (Morin ym. 2011; Morin 2012; Rabita ym. 2015; Slawinski ym. 2015; Nagahara ym. 2018). Haugenin ym. (2019) tutkimustulokset ovat linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa, jossa he ovat osoittaneet suuremman horisontaalisen voiman- ja tehontuoton selittävä parempaa kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen yhteydessä jalkapalloilijoille tehdyssä tutkimuksessa. Samalla tutkijat osoittivat korkeamman tason pelaajien pystyvän tuottamaan korkeampia horisontaalisen voiman- ja tehontuoton arvoja verrattuna matalamman tason pelaajiin kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen aikana. Pelipaikkakohtaisessa vertailussa hyökkääjien mitatut mekaaniset arvot (H_F , P_{max}) olivat korkeimmat muihin pelipaikkoihin verrattuna. (Haugen ym. 2019.) On

kuitenkin huomionarvoista, että jalkapalloilijoiden keskiarvoiset horisontaalisen voimantuoton arvot eroavat huomattavasti eliittitason pikajuoksijoiden arvoista ($8.4 \pm 0.5 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ vs. $10.1 \pm 0.9 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Haugen ym. 2019; Slawinski ym. 2015).

Yhteenvedona voidaan todeta urheilijoiden kiihdytys suorituskyvyn olevan riippuvainen työntävästä kokonaisvoimasta ja tehontuotosta horisontaaliseen suuntaan ja urheilijoiden harjoittelun suunnittelussa ja ohjelmoinnissa tulisi pyrkiä tämän ominaisuuden kehittämiseen.

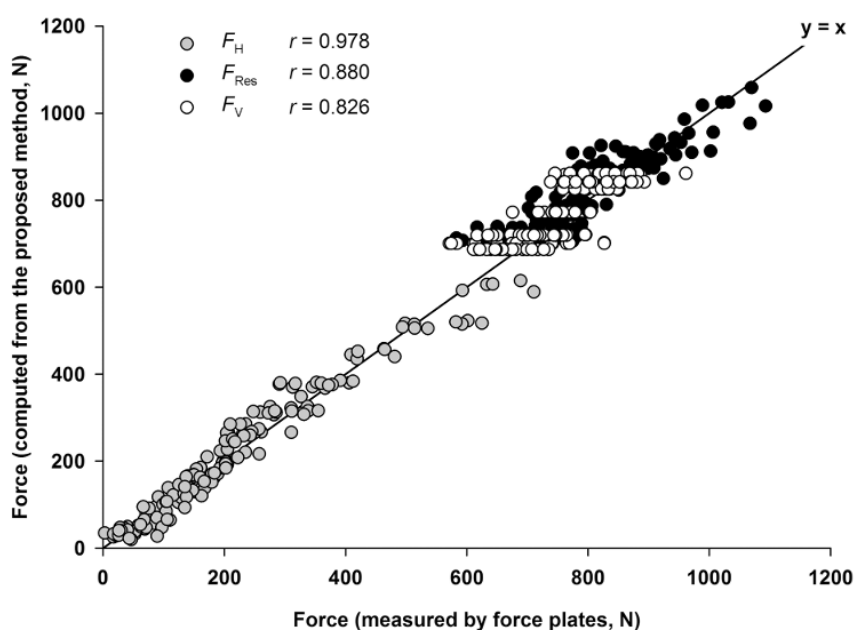
3.1.2 Kiihdytys- ja huippunopeusvaiheen mekaanisten tekijöiden määrittäminen

Valmentajien, jotka ovat vastuussa urheilijoiden harjoittelun suunnittelusta, toteutuksesta ja kehityksestä tulee olla kykeneväisiä testaamaan ja analysoimaan urheilijoiden suorituskykyä ja siihen vaikuttavia ominaisuuksia, jotta oikeita ja tehokkaita toimenpiteitä harjoittelussa voidaan toteuttaa (Bourdon ym. 2017). Voima- ja nopeusominaisuuksien ollessa perustana korkealle mekaaniselle tehontuotolle on kyseisten ominaisuuksien määrittäminen ja pidemmän aikavälin monitorointi oleellista laadukkaassa valmennusprosessissa (Morin & Samozino 2016). Aikaisemmissa tutkimuksissa käytetyt menetelmät juoksun mekaanisten muuttujien mittaamiseksi ja määrittämiseksi vaativat laboratorio olosuhteita ja/tai kalliita testauslaitteistoja ja eivät näin ole helposti hyödynnettävissä urheilijoiden ja valmentajien käytännön valmennuksen yhteydessä (Morin ym. 2011; Rabita ym. 2015; Slawinski ym. 2015; Nagahara ym. 2018).

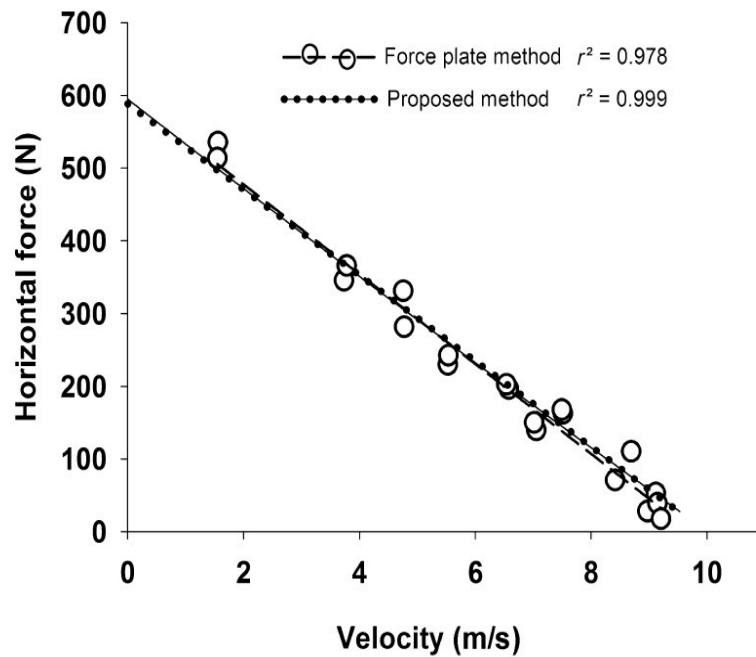
Samozino ym. (2016) kehittivät yksinkertaisen kenttätestausmenetelmän määrittämään juoksun mekaanisia muuttujia ja käyttivät tutkimuksessaan voimalevyillä (golden standard) saatuja tuloksia kenttätestausmenetelmän validoimiseksi maksimaalisen kiihdytys suorituksen yhteydessä. Tutkimuksen yhtenä tarkoituksena oli myös voima-nopeus- (F-v) ja teho-nopeus- (P-v) -yhteyden määrittäminen ja luotettavuus kenttätestausmenetelmän avulla, jotka osaltaan kuvastavat alaraajojen maksimaalisia mekaanisia ominaisuuksia hermolihasarjestelmän osalta. Kyseinen kenttätestausmenetelmä perustuu biomekaaniseen laskentamalliin käyttäen dynamiikan käänteistä lähestymistapaa sovellettuna juoksijan massakeskipisteeseen, arvioiden juoksijaan kohdistuneita keskiarvoisia maanreaktiovoimia jokaiselta askelkontaktilta

sagittaalisessa tasossa koko kiihdytysuorituksen aikana. Tähän menetelmään tarvittavat tiedot horisontaalisen mekaanisten muuttujien määrittämiseksi sisältää ainoastaan urheilijan kehonpainon ja pituuden, sekä nopeus-aika- tai nopeus-matka tiedot, jotka voidaan mitata käyttämällä nopeustutkaa. Tämän lisäksi tuulennopeus ja lämpötila tulee olla tiedossa, jotta ilma-kitkakerroin voidaan määrittää. (Samozino ym. 2016; Morin & Samozino ym. 2016.)

Tutkimustulokset osoittivat kenttätestausmenetelmän mahdollistavan luotettavasti teoreettisen maksimaalisen horisontaalisen voiman (F_0), nopeuden (V_0) ja tehon (P_{MAX}) mittaamisen sekä voima-nopeus- ja teho-nopeus-yhteyden määrittämisen maksimaalisesta kiihdytysuorituksesta, käyttäen ainoastaan juoksijan antropometrisia sekä spatiotemporaalisia (väliajat ja/tai juoksun välitön nopeus) tietoja nopeustutkalla mitattuna. (Samozino ym. 2016.) Kuvissa 4 ja 5 on esitetty mitattu horisontaalinen voiman ja voima-nopeus-yhteys sekä esitetyn kenttätestausmenetelmän ja voimalevyiltä mitattujen tulosten osalta.



KUVA 4. Horisontaalisen voiman arvot jokaiselta askeleelta mitattuna voimalevyllä sekä kenttätestausmenetelmällä laskettuna. F_H , horisontaalinen voima; F_{RES} , kokonaisu-
maanreaktiovoima; F_V , Vertikaalinen voima. (Samozino ym. 2016.)



KUVA 5. Horisontaalinen voima-nopeus-yhteyden mittaustulokset kenttätetausmenetelmällä ja voimalevyillä mitattuna voima-nopeus käyrällä (Samoziono ym. 2016).

Kehitetyn menetelmän avulla voidaan mitata ja analysoida luotettavasti juoksun horisontaalisia mekaanisia muuttujia (F_0 , P_{MAX} , V_0) kenttäolosuhteissa. Tutkimus myös osoitti luotettavasti voima-nopeus- ($F-v$) ja teho-nopeus ($P-v$) -yhteyden määrittämisen maksimaalisen kiihdytysuorituksen yhteydessä. Menetelmän avulla voidaan tutkia ja lisätä ymmärrystä juoksun mekaanisista tekijöistä monissa eri urheilulajeissa sekä alaraajojen adaptaatioista hermolihasjärjestelmässä eri harjoitusinterventioiden yhteydessä. Tämän lisäksi voima-nopeus ja teho-nopeus-profiloinnin kautta on mahdollista vertailla eri urheilijoiden voima-teho-nopeus ominaisuuksia ja kohdentaa yksilöllisemmin harjoittelua kiihdytyskyvyn vaadittujen ominaisuuksien kehittämiseksi. (Samozino, ym. 2016; Morin & Samozino 2016.)

4 NOPEUSHARJOITTELU

Tässä kappaleessa käsitellään juoksunopeuden kehittämisen näkökulmasta vastuskelkkaharjoittelua ja tutkimuksissa käytettyjä perusteita ja menetelmiä vastuskelkkaharjoittelussa käytettyjen kuormien määrittämiseksi.

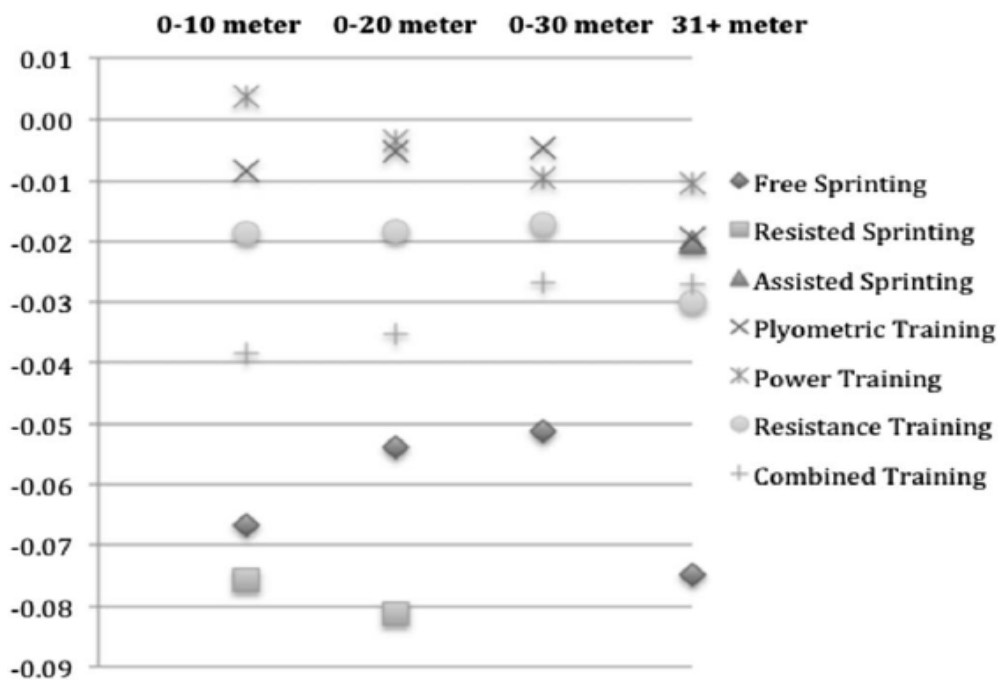
Nopeusominaisuuksien kehittämisen näkökulmasta tutkimuksissa on selvitetty useiden eri menetelmien tehokkuutta kehittää niin kiihdytyskykyä kuin maksimaalista juoksunopeutta. Tutkimuksissa käytettyihin harjoitusmuotoihin lukeutuu esimerkiksi suurilla kuormilla toteutettu voimaharjoittelu, yhdistetty voima- ja tehoharjoittelu, plyometrinen harjoittelu ja ilman ulkoista kuormaa suoritettu nopeusharjoittelu sekä vastusjuoksuharjoittelu (Rumpf ym. 2016; Prieske ym. 2018). Vastusharjoittelussa yleisiin periaatteisiin kuuluvat progressiivinen ylikuormittaminen, harjoittelun ja harjoitteiden variointi sekä harjoittelun spesifisyys optimaalisten harjoitusadaptaatioiden saavuttamiseksi. Erityisesti spesifisyyden näkökulmasta harjoittelussa tulee pyrkiä mallintamaan varsinaisessa suorituksessa vaadittuja tekijöitä mm. lihastoiminnan, liikkeen nopeuden ja liikelaajuuden osalta. (Kraemer ym. 2002; Prieske ym. 2018) Nopeusominaisuuksien kehittämisen kannalta monet valmentajat uskovatkin, että vastusharjoittelun tulee keskittyä spesifiseen voimaharjoitteluun, joka sisältää juoksulle ominaisia piirteitä (liikemalli, liikenopeus) (Alcaraz, ym. 2012).

4.1 Vastuskelkkaharjoittelu

Vastuskelkkaharjoittelu on yksi yleisimmin käytössä olevista vastusjuoksuharjoittelun muodoista nopeusominaisuuksien kehittämiseksi ja tutkimuksissa on selvitetty vastuskelkkaharjoituksen vaikutuksia juoksunopeuden kehittymiseen (Alcaraz ym. 2009; Kawamori ym. 2014; Morin 2015). Vastusjuoksuharjoittelun uskotaan harjoitusmuotona tuottavan mekaanisen ylikuormittumisen, joka parantaa nopeiden lihassolujen rekrytointia sekä lisää hermostollista aktiivisuutta ja on samalla hyvin samankaltainen suoritusmallina varsinkin kiihdytys-suorituksen kanssa. Kyseisellä harjoitusmuodolla voitaisiin saavuttaa haluttuja hermo-lihasjärjestelmän spesifisiä harjoitusadaptaatioita, jotka maksimoisivat harjoittelun

siirtovaikutukset kiihdytys- ja juoksunopeuden parantamiseksi. (Kawamori, ym. 2014: Van Den Tillaar, ym. 2017.)

On oletettu, että lisäämällä ulkoista kuormaa juoksuosuorituksen yhteyteen vastuskelkan muodossa, lisääntyvät vaatimukset suuremman horisontaalisen voiman ja impulssin tuottamiselle jokaisella askelkontaktilla. Vastuskelkkaharjoittelun on todettu johtavan suurempaa eteenpäin nojaavaan asentoon, jonka puolestaan on osoitettu mahdollistavan suurempi horisontaalinen voimantuotto askelkontaktien aikana. (Lockie ym. 2003; Kugler & Janshen 2010.) Urheilijaan kohdistuvat reaktiivoimat ovat puolestaan riippuvaisia kitkakertoimesta vastuskelkan ja juoksualusta välillä sekä vastuskelkassa käytetystä kuormasta. (Alcaraz ym. 2009.) Pitkällä tähtäimellä altistaminen kyseiselle stimulukselle oletetaan johtavan spesifisiin kiihdytyskyvyn ja huippunopeuden adaptaatioihin hermo-lihasjärjestelmän osalta. Tämä puolestaan mahdollistaa suuremman horisontaalisen voimantuoton juoksuosuorituksen eri vaiheissa ja teoriassa johtaa suurempaan askelpituuteen ja siten parantaa nopeusominaisuuksia vapaissa, ilman kuormaa suoritetuissa kiihdytysosuorituksissa. (Kawamori ym. 2014.) Vastusjuoksuharjoittelun tehokkuutta on esitetty myös kirjallisuuskatsauksen muodossa, jossa on vertailtu vastusjuoksuharjoittelun vaikutusta yhdessä muiden harjoitusmuotojen kanssa juoksunopeuden kehittymisen näkökulmasta eri etäisyyksillä. Katsauksessaan Rumpf ym. (2016) osoittivat vastusjuoksuharjoittelun olevan tehokkain tapa yhdessä vapaiden, ilman kuormaa suoritettujen juoksujen kanssa kehittämään juoksunopeutta eri etäisyyksillä. (Rumpf ym. 2016.)



KUVA 6. Eri harjoitusmuotojen vaikuttavuus eri etäisyyksien väliaikoihin suhteutettuna (Rumpf ym. 2016).

Valmentajat ja tutkijat ovat yleisesti suosittelleet vastusjuoksuharjoittelussa käytettävät kuormia, jotka hidastavat juoksijan huippunopeutta maksimissaan 10 % niin kiihdytysvaiheen kuin huippunopeusvaiheen osalta tai on korkeintaan 10 % urheilijan kehonpainosta (Lockie ym. 2003; Alcaraz ym. 2009). Syy, niin sanotun ”10 % säännön” takana on ajatus liian suurten kuormien negatiivisista vaikutuksista juoksun mekaanisiin muuttujiin ja pidemmällä aikavälillä juoksutekniikan heikentyminen vapaissa, ilman ulkoista kuormaa suoritetuissa kiihdytys- ja huippunopeusvaiheessa. Tämän lisäksi on väitetty kevyempien kuormien olevan välttämättömiä spesifisyyden periaatteen säilyttämisessä vastusjuoksuharjoittelussa. (Rumpf ym. 2016; Alcaraz ym. 2009). On kuitenkin huomionarvoista, että aikaisemmassa tutkimusnäytössä ei ole löydöksiä kumoamaan tai tukemaan suuremmalla kuormalla toteutetun vastusjuoksuharjoittelun negatiivista vaikutuksia. Voidaan myös väittää, että kevyillä kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu ei saa aikaan riittävää kontrastia verrattuna ilman ulkoista kuormaa suoritettuun nopeusharjoitteluun sekä ylikuormitusta mekaanisissa muuttujissa, jolloin kevyiden kuormien käyttö suhteessa ilman ulkoista kuormaa toteutettuun nopeusharjoitteluun on kyseenalainen. (Kawamori ym.2014.)

4.1.1 Vastuskelkkaharjoittelun vaikutukset kiihdytys- ja nopeusominaisuuksiin

Monissa vanhemmissa tutkimuksissa harjoitusinterventio on toteutettu noudattaen yleisiä suosituksia vastuskelkkaharjoittelussa käytettyjen kuormien valinnassa (ns.10 % sääntö). Tutkimuksessaan Zefeiridis ym. (2005) osoittivat 8 viikon ajan suoritettun vastuskelkkaharjoittelun, jossa käytettiin 5 kilon lisäkuormaa parantavan juoksun kiihdytysvaihetta (0–20 m), kun puolestaan ilman lisäkuormaa nopeusharjoittelua toteuttaneen ryhmän koehenkilöt eivät parantaneet tuloksiaan merkittävästi lähtötasosta (Zefeiridis ym. 2005). Spinks ym. (2007) suorittivat myös 8 viikon harjoitusintervention, jossa käytettiin 12,6 % kuormaa kehonpainosta vastuskelkkaharjoittelussa. Tutkimustulokset osoittivat vastuskelkkaryhmän parantavat merkittävästi kiihdytysuorituskykyään (0–15 metriä) verrattuna ei harjoitelleeseen kontrolliryhmään, mutta eroavaisuuksia ei puolestaan löytynyt ilman vastusta harjoitelleen nopeusryhmän välillä. (Spinks ym. 2007) Puolestaan Clarkin ym. (2010) tutkimuksessa ilman vastusta toteutettu nopeusharjoittelu paransi yliopistotason urheilijoiden juoksunopeutta tehokkaammin verrattuna vastuskelkkaharjoitteluun, jossa kuormitusmalli vastasi 10 % koehenkilöiden kehonpainosta (Clark ym.2010). Näiden tutkimusten perusteella kevyemmällä kuormilla suoritettulla vastuskelkkaharjoittelulla voidaan parantaa juoksun kiihdytyskykyä, mutta se ei välttämättä tarjoa tehokkaampaa harjoitusmuotoaverrattuna ilman vastusta suoritettuun nopeusharjoitteluun verrattuna.

Uudemmissa Tutkimuksissa, joissa on käytetty suurempia kuormia vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä, on kuitenkin saatu parempia tuloksia kiihdytys- ja nopeusominaisuuksien kehittymisen kannalta. Bachero-Mena ym. (2014) käyttivät tutkimuksessaan suurempia kuormia vastuskelkkaharjoittelussa, kun aikaisemmin on suositeltu. Heidän tutkimustuloksensa osoittivat suuremman kuorman (20 % kehonpainosta) parantavan alun kiihdytysvaihetta tehokkaammin verrattua kevyemmällä kuormilla (5 % ja 12,5 % kehonpainosta) toteutettuun vastuskelkkaharjoitteluun. Puolestaan huippunopeusvaiheen parannukset olivat suurempia kevyemmällä kuormilla, jonka perusteella juoksusuorituksen eri vaiheissa eri kuormitusmallien käyttö olisi suositeltavaa. (Bachero-Mena ym. 2014.) Vastaavasti Kawamorin ym. (2014) tutkimustulokset myös osoittivat harjoitusintervention aikana vastusjuoksuryhmän, joka käytti raskaampia kuormia (30 % lasku 10 metrin juoksunopeudesta), parantavan 5 metrin kiihdytyskykyä, kun puolestaan matalampaa kuormaa käyttäneellä vastusjuoksuryhmällä (10

% lasku 10 metrin juoksunopeudesta) ei parannuksia esiintynyt vastaavalla etäisyydellä. Tämän tiedon perusteella voidaan kyseenalaistaa matalien kuormien hyödyt suhteessa juoksuihin ilman vastusta, kuin myös hypoteesin luotettavuus vastuskelkkaharjoittelussa käytettävien raskaampien kuormien heikentävistä vaikutuksista juoksun kiihdytyskykyyn. (Kawamori, ym. 2014.)

Edellä mainituista tutkimuksista suurin käytetty ulkoinen kuorma on ollut noin 43 % kehonpainosta vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä (Kawamori ym. 2014). Cross ym. (2017) ovat kuitenkin myöhemmin raportoineet maksimaalisen horisontaalisen tehontuoton (P_{max}) vastuskelkkaharjoittelussa esiintyvän huomattavasti suuremmilla kuormilla urheilijoiden välillä (69–96 % kehonpainosta). Tämän tiedon valossa suuremmilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu voisi antaa tehokkaamman stimuluksen juoksun kiihdytysvaiheen parantamiseksi. (Cross ym. 2017.) Kyseistä tietoa hyödyntäen Morin ym. (2017) käyttivät jalkapalloilijoille suunnatussa tutkimuksessaan aikaisemmista tutkimuksista poiketen huomattavasti suurempaa kuormaa vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä (80 % kehonpainosta) ja hyödynsivät Samozinin ym. (2016) kehittämää kenttätestausmenetelmää juoksun mekaanisten tekijöiden määrittämiseksi. Suurilla kuormilla suoritettu vastuskelkkaharjoittelu kehitti merkittävästi maksimaalista horisontaalista voimantuotto (F_0) ja mekaanista tehokkuutta (RF) sekä juoksunopeutta 5 ja 20 metrin kiihdytysuorituksessa, verrattuna kontrolliryhmän ilman vastusta suoritettuun nopeusharjoitteluun verrattuna. (Morin ym. 2017.) Suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun on myös osoitettu kehittävän akuutisti urheilijoiden kiihdytyskykyä kohtalaisen pienellä kokonaisvolyymilla suoritettuna yhden harjoituskerran yhteydessä (Jarvis ym. 2017; Zisi ym. 2022).

Mahdolliset selittävät tekijät parantuneeseen kiihdytyskykyyn ja juoksunopeuteen voivat liittyä suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun seurauksena pidentyneisiin kontaktiaikoihin, joka mahdollistaa pidemmän horisontaalista voimantuoton ajan ja sen seurauksena horisontaalisten impulssien kasvun. (Kawamori, ym. 2014; Morin, ym. 2015.) Esimerkiksi Kawamori ym. (2014) tutkimuksessa osoitettiin vastuskelkkaharjoittelua suoritettuna 10 % kehonpainoa vastaavalla kuormalla ei ole merkittäviä eroja maan reaktivoimissa verrattuna ilman vastusta suoritettuihin kiihdytysuorituksiin (10 metriä), jonka perusteella haluttua ylikuormittumista kiihdytysvaiheen mekaanisissa muuttujissa ei

saada aikaan (Kawamori ym. 2014). Kiihdytyskyvyn ollessa riippuvainen tehokkuudesta tuottaa suuria määriä horisontaalisen voimaa (Morin ym. 2012; Morin ym. 2015), voi näin suuremmilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu antaa tehokkaamman harjoitusvasteen lisääntyneiden mekaanisten vaatimusten myötä verrattuna kevyillä kuormilla toteutettuun vastuskelkkaharjoitteluun (Morin ym. 2017).

4.1.2 Vastuskelkkaharjoittelun kuormien määrittäminen

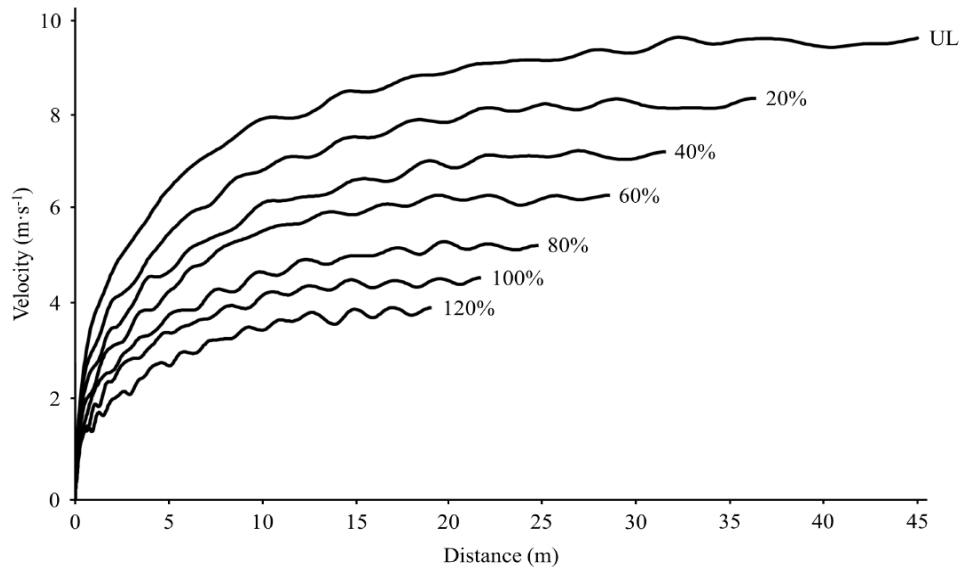
Vaikka vastuskelkkaharjoittelu on kasvavassa suosiossa, edelleen tieteellistä näyttöä löytyy vähän tukemaan kuormien valintaa harjoittelussa (Gross ym. 2017). Vastuskelkkaharjoittelussa kuormien valinta prosentuaalisesti kehonpainon perusteella ei todennäköisesti saa aikaan samanlaista stimulusta eri yksilöillä. Toisille kehonpainon avulla määritetty kuorma voi olla liian suuri, toiselle liian kevyt yhtenäisen harjoitusvasteen aikaan saamiseksi. (Kawamori, ym. 2014) Aikaisemmin optimikuorma vastuskelkkaharjoitteluun on määritetty yksinkertaisen laskentataulukon avulla niin kiihdytyskyvyn kuin huippunopeuden kehittämiseen. Kyseinen laskentataulukko on kuitenkin arvioinut vastuskelkkaharjoitteluun suositellut kuormat niin sanotun ”10 % säännön” mukaan, joka ei tutkimusnäytön perusteella ole tehokkain tapa varsinkaan kiihdytyskyvyn kehittämiseen. (Alcaraz, ym. 2009; Morin ym. 2015; Cross ym. 2017.)

Viimeaikaisessa kirjallisuudessa on pyritty määrittämään vastuskelkkaharjoitteluun vaaditut kuormat maksimaalisen tehontuoton näkökulmasta toteuttamalla vastuskelkkajuoksuja useilla eri kuormitusmalleilla. Tämän mahdollistamiseksi tarvitaan kuormitusmalli, joka luo tilanteen optimaalisen voiman ja nopeuden saavuttamiseksi, jolla maksimaalinen tehontuotto ilmenee. Näistä syistä tutkijat ovat käyttäneet useita eri kuormitusmalleja maksimaalisen tehon määrittämiseksi (Monte ym. 2017; Cross ym. 2017). Monte ym. (2017) selvittivät maksimaalisen tehon (P_{MAX}) määrittämiseksi suorittamalla vastuskelkkajuoksuja 15 %, 20 %, 30 % ja 40 % kuormilla kehonpainosta 20 metrin maksimaalisessa kiihdytysuorituksessa. Tutkimustulosten perusteella maksimaalinen tehontuotto esiintyisi noin 20 % kehonpainosta käytetyllä kuormalla ilman merkittäviä muutoksia juokсутekniikassa. Tuloksien mukaan yli 40 % kehonpainosta suuruisilla kuormilla vastuskelkkaharjoittelussa tehontuotto oli pienempää verrattuna ilman kuormaa suoritettuihin juoksuihin. Cross ym. (2017) puolestaan olivat

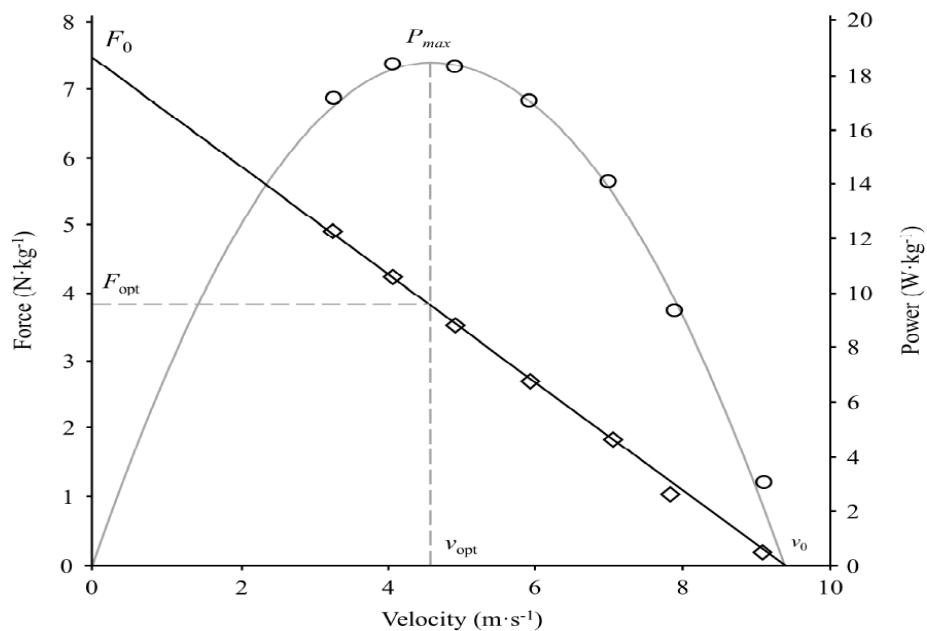
aikaisemmin osoittaneet maksimaalisen horisontaalisen tehon esiintyvän 69–96 % kehonpainosta suoritetuilla kuormilla (kuormat, jotka aikaansaavat noin 50 % laskun huippunopeudesta) vastuskelkkaharjoittelussa. Tämän tiedon perusteella suuremmilla kuormilla vastuskelkkaharjoittelussa voitaisiin aikaan saada tehokkaampi stimulus juoksun kiihdytysvaiheen parantamiseksi. (Gross ym. 2016.)

Monten ym. (2017) ja Crossin ym. (2017) tutkimustulosten eroavaisuudet vastuskelkkajuoksujen maksimaalisen tehontuoton osalta selittyvät tutkimuksissa käytettyjen menetelmien kautta. Monten ym. (2017) tutkimuksessa käytetyt menetelmät kitkanvoiman määrittämiseksi todettiin sisältävän huomattavia epätarkkuuksia, jotka vaikuttavat suoraan voimantuoton määrittämiseen. Kyseinen menetelmä saattoi aliarvioida merkittävästi kitkavoiman vaikutukset vastuskelkkajuoksujen yhteydessä eri kuormitusmalleilla ja näin vaikuttaen virheellisesti tutkimustuloksiin (Cross ym. 2019). Toisessa tutkimuksessa Cross ym. (2017) käytti vastaavasti useita eri kuormitusmalleja, mutta huomioivat myös kitkavoimien vaikutuksen sekä aerodynaamisen vastuksen, sekä hyödynsivät Samozinon ym. (2016) kehittämää laskentamenetelmää. Tutkimuksessa jokaiselle yksilölliselle määritettiin kuormanopeus-profiili käyttämällä pienemmän neliöjuuren lineaarista regressiota (least-square linear regression), jotta maksimaalinen tehontuotto pystyttiin määrittämään. (Cross ym. 2017)

Tarkemmin kuvattuna Cross ym. (2017) testausmenetelmiä kuvattuna, tutkijat selvittivät voima-nopeus- (F-v) ja teho-nopeus (P-v) -yhteyden kautta optimaalista kuormaa (L_{OPT}) maksimaalisen tehontuoton määrittämiseksi vastuskelkkaharjoittelussa suorittamalla seitsemän eri kuormitusmallia (ilman vastusta, 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 % ja 120 % kehonpainosta). Tämän protokollan osoitettiin aikaansaamaan riittävät tiedot tehopiikin ja teho-nopeuskäyrän määrittämiseksi. Jokaista suoritusta seurattiin reaaliaikaisesti nopeustutkasta saadun raakadatan avulla ja kuormitusta lisättiin, kunnes urheilijan huippunopeus laski 50 % ilman vastusta saavutetusta huippunopeudesta. Saavutettu huippunopeus eri kuormitusmaleissa vaihteli 45 metrin (ilman vastusta) ja 20 metrin (kuorma 100–120 % kehonpainosta) välillä. Kuva 7 havainnollistaa nopeus-matka dataa seitsemän eri kuormitusmallin yhteydessä, aina nopeuden hidastumiseen asti. Kuva 8 puolestaan on graafinen kuvaus voiman, tehon ja nopeuden yhteydestä vastuskelkkajuoksujen eri kuormitusmallien yhteydestä. (Cross ym. 2017.)



KUVA 7. Graafinen esitys nopeustukalla mitatuista nopeus-matka tiedoista seitsemällä eri kuormitusmallilla toteutettuna aina nopeuden hidastumiseen asti (Cross ym. 2017).



KUVA 8. Voima-nopeus ja teho-nopeus-yhteyden graafinen esitys. Datapisteet havainnollistat eri kuormitusmalleista saatuja arvoja. (Cross ym. 2017.)

Hyödyntämällä kehitettyä laskentamenetelmää (sekä kitkakertoimen vaikutuksia) ja nopeustutkasta saatuja nopeus-aika tietoja pystyttiin yksilölliset kuorma-nopeus-profiilit luomaan maksimaalisen tehontuoton määrittämiseksi vastuskelkkajuoksujen yhteydessä. (Samozino ym. 2016; Cross ym, 2017;) Crossin ym. (2017) löydökset kuitenkin osoittavat suuret yksilölliset eroavaisuudet optimaalisen kuorman osalta koehenkilöiden välillä (pikajuoksijat ja jalkapalloilijat), jolla maksimaalinen tehontuotto saavutetaan vastuskelkkaharjoittelussa (69–96 %kehonpainosta) ja tämä korostaa yksilöllistä lähestymistapaa kuormien määrittämisen ja valinnan kannalta (Cross ym. 2016).

Uudemmassa kirjallisuuskatsauksessa (Alcaraz ym. 2018) on kuitenkin edelleen suositellut, että yli 20 % kehonpainosta suurempia kuormia ei tulisi vastuskelkkaharjoittelussa käyttää ja pääasiallisena syynä on negatiivisten vaikutusten välttäminen juoksun teknisten ominaisuuksien kannalta. Samassa katsauksessa on todettu vastuskelkkaharjoittelun parantavan alun kiihdytysvaihetta, mutta sen ei todettu olevan merkittävästi ilman vastusta suoritettua nopeusharjoittelua tehokkaampi kehittämään nopeusominaisuuksia. Harjoitusvasteiden esitettiin olevan suurempia aktiiviliikkujiilla, verrattuna korkean tason urheilijoihin, kuten esimerkiksi jalkapalloilijoihin. (Alcaraz ym. 2018.) Suurempien kuormien käyttämisestä ja negatiivista vaikutuksia juokсутeknisiin ominaisuuksiin ei kuitenkaan ole todettu olevan tieteellistä näyttöä vastuskelkkaharjoittelussa aikaisemman kirjallisuuskatsauksen perusteella (Petrokas ym. 2016). Tämän lisäksi Lahti ym. (2019) ovat osoittaneet, että suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu 9 viikon ajan ei negatiivisesti vaikuttanut juoksun kineettisiin ja spatiotemporaalisiin muuttujiin jalkapalloilijoilla (Lahti ym. 2019).

Cross ym. (2018) kirjoittivat vastauksen edellä mainittuun kirjallisuuskatsaukseen (Alcaraz ym. 2018) ja nostivat useita epäkohtia katsauksessa esitettyihin seikkoihin. Ensinnäkin aikaisemmassa katsauksessa vastuskelkkaharjoittelu tutkimuksien kuormitusmallit olivat jaettu kehonpainoon suhteutettuihin kuormitusmalleihin, joista 77 % ($n = 12$) katsaukseen sisältyneistä tutkimuksista oli käyttänyt alle 20 % kehonpainoon suhteutettuja kuormitusmalleja. Kehonpainoon suhteutettujen kuormitusmallien käyttö ei vastaa todellista urheilijalle kohdistettua vastusta vastuskelkkajuoksun yhteydessä, sillä kitkakertoimen vaikutus alustan (esimerkiksi nurmi) ja vastuskelkan välillä voi laskea ns. ”tehokkaan kuorman” suuruutta 4–9 % kun vastuskelkan kuorma vastaa 20 % kehonpainosta

(kitkakertoimen vaikutus määritetty mm. Cross ym. 2016). Vastauksessa myös nostettiin esille eri kuormitusmallien spesifiset mekaaniset vaikutukset horisontaalisen voima-nopeus ja tehonopeus-yhteyden suhteen osalta juoksun eri vaiheissa. Esimerkiksi vastuskelkkaharjoittelussa ulkoisenkuorman hidastaessa huippunopeuden 5 m/s^{-1} , voimantuoton tulisi olla verrannollinen ilman vastusta suoritettun kiihdytyksen 5 m/s^{-1} nopeuden vaiheeseen. Kehonpainoon suhteutettu 20 % kuorma vastuskelkkaharjoittelussa (noin 15 % lasku maksimaalisesta nopeudesta) on todennäköisesti tehokas kehittämään voima-nopeus-yhteyden perusteella loppuvaiheen kiihdytyskykyä, mutta ei puolestaan tarjoa riittävää stimulusta alun kiihdytysvaiheen kehittämiseksi. Vastuskelkkaharjoittelun kuormien valinnan kannalta on siis oleellista arvioida sen perusteella, mitä haluttuja harjoitusadaptaatioita tavoitellaan maksimaalisen juoksusuorituksen eri vaiheiden osalta. (Cross ym. 2019.)

Vaikka vastuskelkkaharjoittelu on kasvavassa suosiossa, edelleen tieteellistä näyttöä löytyy vähän tukemaan kuormien valintaa harjoittelussa, joilla mahdollistetaan pidemmän ajan harjoitusadaptaatiot juoksunopeuden ja kiihdytyskyvyn kehittämisen näkökulmasta (Gross ym. 2017; Morin ym. 2017).

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää vastuskelkkaharjoittelussa kahden eri kuormitusmallin vaikutuksia ammattilaisjalkapalloilijoiden juoksun kiihdytyskykyyn ja mekaanisiin muuttujiin sekä juoksunopeuteen. Tutkielmassa hyödynnetään aikaisemmin kirjallisuudessa esitettyjä laskentamenetelmiä juoksun mekaanisten muuttujien mittaamiseksi maksimaalisesta kiihdytysuorituksesta sekä vastuskelkkaharjoittelussa kuormien määrittämiseen käytettyä menetelmää (Samozino ym. 2016; Cross ym. 2017).

Tutkimuskysymys 1: Minkälaisia muutoksia ja eroavaisuuksia suurilla kuormilla toteutetut kaksi eri kuormitusmallia saa aikaan juoksun mekaanisissa muuttujissa vastuskelkkaharjoittelun seurauksena?

Hypoteesi: Aikaisemman tutkimusnäytön pohjalta on oletettavaa, että suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun myötä kumpikin ryhmä parantaa juoksun mekaanisia muuttujia (F_0 , P_{MAX} , V_0) (Morin ym. 2017). Optimitehoryhmän oletetaan parantavan enemmän maksimaalista tehontuottoa (P_{MAX}) kuormitusmallin mahdollistaessa maksimaalisella tehontuotolla työskentelyn vastuskelkkaharjoittelussa (Cross ym. 2017). Puolestaan maksimivoimaryhmän odotetaan parantavan enemmän maksimaalista horisontaalista voimantuottoa (F_0).

Tutkimuskysymys 2: Mitä muutoksia ja eroavaisuuksia ilmenee ryhmien välillä kiihdytys- ja juoksunopeudessa vastuskelkkaharjoittelujakson jälkeen?

Hypoteesi: Voima-teho-nopeus suhteen perusteella horisontaalisessa kiihdytysuorituksessa optimitehoryhmän parannukset voivat olla parempia 10–20 metrin välisellä etäisyydellä. Puolestaan maksimitehoryhmä saattaa oletettavasti parantaa enemmän 0–5 ja 0–10 metrin välistä juoksunopeutta kyseisen etäisyyden ollessa enemmän voimantuotosta riippuvainen (Cross ym. 2017; Morin & Samozino 2016). Suurilla

kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu ei todennäköisesti paranna aikaisemman näytön perusteella maksimaalista juoksunopeutta suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun seurauksena (Morin ym. 2017).

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Tutkimuksen koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöt koostuivat yhdestä Suomen pääsarjatason (Vaikkausliiga) jalkapallojoukkueen pelaajista, jotka suorittivat vastuskelkkaharjoittelua eri suuruisilla kuormilla kahdessa eri ryhmässä. Tässä tutkimuksessa ryhmät nimettiin optimiteho- ja maksimivoimaryhmiksi. (ryhmäjaon perusteet seuraavassa kappaleessa). Yhteensä tutkimukseen osallistuneita koehenkilöitä oli 19 (Ikä: $24,1 \pm 5,0$; Paino: $76,7 \pm 7,7$ kg; Pituus 180 ± 10 cm), joista 18 suoritti kaikki tutkimukseen sisältyneet alku- ja loppumittaukset sekä harjoitusintervention. Taulukossa 1 on esitetty tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden ikä, antropometriset tiedot, 30 metrin juoksuaika alkumittauksista sekä vastuskelkkaharjoittelussa käytetyt kuormat ja niiden vaikutuksesta prosentuaalinen muutos maksimaaliseen juoksunopeuteen. Kaikilla koehenkilöillä oli kokemusta useamman vuoden ajalta kilpailullisesta jalkapallosta niin nuorten-, kuin miesten pääsarjatasoilta. Tutkimuksen aikana koehenkilöt osallistuivat normaalisti joukkueen kokonaisvaltaiseen harjoitteluun, sekä harjoitus- ja kilpailullisiin CUP-otteluihin. Harjoitustapahtumia tutkimuksen aikana yhtä viikkosykliä kohden joukkueella oli keskimäärin 8–10 (sisältäen jalkapalloharjoittelun lisäksi 2 eristettyä voimaharjoitusta) ja ottelutapahtumia 1 (harjoitus- tai CUP-ottelu).

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden antropometriset tiedot, lähtötilanne 30 metrin juoksuajan osalta sekä harjoittelussa käytetyt vastuskelkkakuormat suhteutettuna kehonpainoon ja niiden vaikutus maksimaalisen juoksunopeuden muutokseen.

Ryhmä	N	Ikä	Pituus (m)	Paino (kg)	Juoksuaika 30m (s)	Kuorma (• BM)	Nopeuden muutos (%)
Optimiteho-ryhmä	9	25.22 ± 6.86	1.78 ± 0.08	74.22 ± 8.31	4.62 ± 0.10	0.91 ± 0.06	-48.8 ± 3.72
Maksimivoima-ryhmä	10	20.75 ± 3.15	1.83 ± 0.09	81.23 ± 8.85	4.65 ± 0.17	1.20 ± 0.06	-59.80 ± 2.30

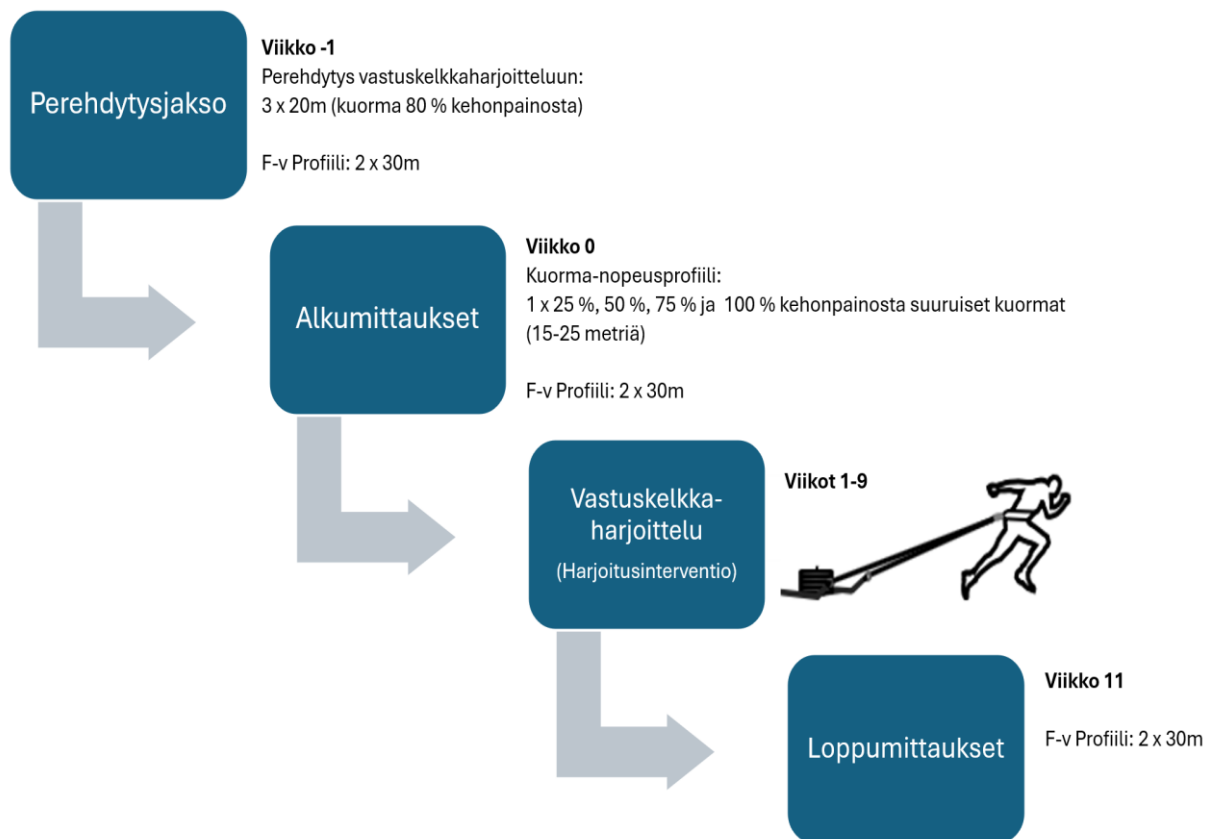
Koehenkilöiden rekrytointi tutkimukseen tapahtui tutkimuksen tekijän toimesta hänen työskennellessään kyseisen joukkueen taustaryhmässä (voima- ja kuntovalmentaja). Tutkimukseen osallistumisen kriteerinä koehenkilöiden tuli kuulua joukkueen harjoitusryhmään, jotta harjoitusinterventio voitiin suorittaa valvotusti ja kokonaiskuormitus oli yhdenmukainen koehenkilöiden välillä. Tutkimuksesta puolestaan suljettiin pois henkilöt, joilla oli lähihistoriassa (4 viikkoa ennen tutkimuksen aloittamista) merkittävä loukkaantuminen/vamma, akuutti vamma tai suurentunut riski vammoille, mikä estäisi vastuskelkkaharjoittelun suorittamisen. Koehenkilöiden tilanne arvioitiin tarkasti ennen tutkimuksen aloittamista yhdessä joukkueen fysioterapeutin ja lääkärin kanssa.

Kaikki kyseissä tutkimuksessa käytetyt mittaus- ja harjoitusmenetelmät on hyväksytty Jyväskylän Yliopiston eettisen toimikunnan puolesta. Tutkimuksen tarkoitus ja toteutus (käytettävät mittaukset ja harjoitusinterventio) sekä tutkimukseen liittyvät mahdolliset hyödyt ja riskit on kerrottu suullisesti ja kirjallisesti kaikille tutkimukseen osallistuneille koehenkilöille. Kaikki koehenkilöt täyttivät terveystarkastuksen ennen tutkimuksen aloittamista ja allekirjoittivat suostumuslomakkeen tutkimukseen osallistumisesta. Koehenkilöille ilmaistiin selkeästi, että tutkimuksesta poisjäänti on mahdollista myös tutkimuksen aikana. Koehenkilöiden henkilökohtaisia tietoja ja tutkimuksesta saatua tutkimusdataa käsiteltiin huolellisesti, jotta koehenkilöiden henkilöllisyyttä ei voitaisi tunnistaa. Mitään henkilökohtaisia tietoja (mm. tuloksia) ei ole esitetty ilman koehenkilöiden kirjallista suostumusta. Tämän tutkimuksen toteuttamiseen on myönnetty hyväksyntä Jyväskylän yliopiston eettiseltä toimikunnalta ennen mittausten ja tiedon keruun aloittamista.

6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus suoritettiin keväällä 2019 Suomen pääsarjatasoisen jalkapallojoukkueiden valmistavan harjoitusjakson (pre-season, joka on kestoltaan 13 viikkoa) aikana ennen kilpailukauden alkamista (Veikkausliiga). Tutkimuksen alku- ja loppumittausten väli oli 11 viikkoa ja kyseiselle ajanjaksolle sisältyvä harjoitusinterventio kesti kokonaisuudessaan 9 viikkoa. Ennen varsinaista alkumittausta suoritettiin perehdytys harjoitus (viikko -1), jossa koehenkilöt saivat perehdytys harjoituksen suurilla kuormilla toteutettavaan vastuskelkkaharjoitteluun sekä

opastuksen vastuskelkkaharjoitteluun liittyvien suoritusteknisten seikkojen osalta. Samassa perehdytysharjoituksessa koehenkilöiltä mitattiin voima-nopeus-profiili (F-v profiili) 30 metrin maksimaalisesta juoksusuorituksesta. Toisen perehdytysharjoituksen yhteydessä toteutettiin alkumittaukset (F-v profiili 30 metrin maksimaalisesta juoksusuorituksesta) ja kyseisellä kerralla suoritettiin myös kuorma-nopeus-profilointi tutkimuksen koehenkilöille, jonka perusteella harjoitusinterventiossa käytettävät yksilölliset vastuskelkkakuormat määräytyivät. Loppumittaukset (F-v profiilointi) suoritettiin viikolla 11 harjoitusintervention ja 2 viikon taper-jakson jälkeen. Kuvassa 9 on havainnollistettu tutkimusasetelma alku- ja loppumittauksien sekä harjoitusintervention osalta.



KUVA 9. Havainnollistava kuva tutkimusasetelmasta. F-v profiili, voima-nopeus-profilointi.

Kaikki perehdytys- ja alkumittaukseen sisältyneet testaukset sekä harjoitusinterventioon sisältyneet vastuskelkkaharjoitukset suoritettiin samalla keinonurmialustalla jalkapalloon suunnittelussa sisähallissa. Loppumittaus suoritettiin poikkeuksellisesti ajankäytännöllisistä syistä ulkona, kuitenkin vastaavalla keinonurmialustalla verrattuna sisähallin keinonurmialustaan. Perehdytys- alku- ja loppumittaukset suoritettiin samana viikkosykliä vastaavana ajankohtana, jolloin koehenkilöillä ei ollut rasitusta alla ja palautumiseen tarvittava aika oli optimoitu esimerkiksi edellisestä ottelusta. Kaikki testaukset sekä harjoituksen ohjaus suoritettiin tutkimuksen tekijän toimesta sekä samaa mittaus- ja testiprotokollaa noudatettiin läpi tutkimuksen.

6.3 Ryhmäjako

Koehenkilöt jaettiin tasaisesti kahteen ryhmään pohjautuen perehdytys- ja alkumittauksista saatuihin nopeustestituloksiin (paras 30 metrin juoksuaika). Kumpaankin ryhmään valittiin pareittain sekä nopeita, että hitaampia pelaajia, jolloin ryhmäjako olisi mahdollisimman tasainen nopeusominaisuuksien suhteen. Optimiteryhmän (N=9) keskiarvoinen 30 metrin juoksuaika (s) lähtötilanteessa oli 4.62 ± 0.10 ja maksimivoimaryhmän (N=10) oli 4.65 ± 0.17 . 30 metrin juoksuaikaa käytettiin ryhmäjoissa sen pienemmän virhemarginaalin takia verrattuna lyhyemmän matkan väliaikoihin (0–5 m, 0–10 m, 0–20 m) (Haugen ym. 2018) sekä kyseisen matkan ollessa pisin väliaika etäisyys, jota tämän tutkimuksen testausprotokollassa käytettiin.

6.4 Yksilöllisten vastuskelkkakuormien määrittäminen

Toisen perehdytysharjoituksen ja alkumittausten (viikko 0) yhteydessä koehenkilöille määritettiin yksilölliset kuormat vastuskelkkaharjoittelua varten. Vastuskelkkaharjoitteluun käytetyt vastuskelkat (21 kg) olivat valmistettu tutkimuksen tekijän vaatimusten mukaisesti kuntosalivälineitä valmistavan toimijan puolesta (Dinox Sport Oy, Hollola, Suomi). Vastuskelkkaharjoittelun kuormien määrittämiseksi käytettiin aikaisemmin kirjallisuudessa esitettyä menetelmää neljällä eri kuormitusmallilla (Cross ym. 2017), joista nopeus-aika tiedot kerättiin nopeustutkaa käyttäen (Stalker ATS pro 2, TX, USA). Kuvassa 10 kuorma-nopeustestin testaustilanne. Kuorma-nopeustesti sisälsi molemmille ryhmille yhden ilman

vastusta suoritettua maksimaalista juoksuosuutta (30 metriä) sekä yhden vastuskelkkajuoksun jokaista neljää eri suuruista kelkkakuormitusta kohti (25 %, 50 %, 75 % ja 100 % kehonpainosta suhteutettuna kuormat). Kuormitusmalleja sovellettiin sen mukaan, jotta tutkimuksen kannalta riittävän kuorman määrittäminen oli mahdollista maksimaalisen juoksunopeuden laskun osalta. Vastuskelkoilla suoritettu juoksuetäisyys oli 15–25 metriä (pienemmillä kuormilla pidempi etäisyys, suuremmilla lyhyempi). Kuorma-nopeus testistä saadut yksilölliset profiilit luotiin lineaarisesta regressioanalyysistä käyttäen (Cross ym. 2017) ja vastuskelkkaharjoittelussa käytettävät kuormat määritettiin yksilöllisesti kummankin ryhmän koehenkilöille.

Optimitehoryhmän koehenkilöille määritetty kuorma vastuskelkkaharjoitteluun vastasi kuormaa, joka laski koehenkilöiden maksimaalista juoksunopeutta 50 % vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä. Optimitehoryhmän keskimääräinen kuorma oli $0.91 \pm 0.06 \cdot \text{kehonpaino (kg)}$. Maksivoimaryhmälle määritetty kuorma vastasi puolestaan 60 % laskua maksimaalisesta juoksunopeudesta vastuskelkkajuoksussa (maksimivoimaryhmän keskimääräinen kuorma $1.20 \pm 0.06 \cdot \text{kehonpaino}$). Harjoitusintervention yhteydessä ensimmäisellä viikolla varmistettiin nopeustutkan (Stalker ATS pro 2, TX, USA) avulla koehenkilöille valitun kuorman vastaavan edelleen 5 % tarkkuudella haluttua nopeudenmuutosta vastuskelkkajuoksun aikana. Tarkistuksen perusteella kolmelle koehenkilölle tehtiin muutoksia vastuskelkkajuoksussa käytettyyn kuormaan, lisäämällä painoa 2.5–7.5 kg. Vastuskelkkaharjoittelussa käytetyt lopulliset keskimääräiset kuormat (johon lukeutui vastuskelkka) optimitehoryhmällä olivat 94 % kehonpainosta ja maksimivoimaryhmällä 120 %, jonka myötä ryhmien keskiarvoinen ero oli 26 kiloa vastuskelkkaharjoittelussa käytetyn kuormitusmallin osalta.



KUVA 10. Vastuskelkkaharjoitteluun käytettyjen kuormien testaustilanne kuormanopeustestistä.

6.5 Juoksun voima-nopeus-profiilitesti

Juoksun voima-nopeus-profiilitestit (F-v profiili) suoritettiin maksimaalisesta 30 metrin juoksuosuudesta perhdytysharjoituksen, alku- ja lopputestien yhteydessä (viikot -1, 0 ja 11). Ennen varsinaista testisuoritusta koehenkilöt suorittivat ohjatun lämmittelyn joukkueen voima- ja kuntovalmentajan toimesta (tutkimuksen tekijä). Lämmittelyosuus sisälsi matalan intensiteetin juoksua, dynaamista liikkuvuutta, juoksuteknisiä harjoitteita sekä alaraajoille suunnattuja aktivointiliikkeitä kevyillä vastuskuminauhoilla. Tämän lisäksi suoritettiin progressiivisesti kasvavalla intensiteetillä valmistavia kiihdytyksiä (2–3 suoritusta). Tavoitteena oli valmistaa koehenkilöt suorittamaan optimaalisesti maksimaalinen juoksuosuus testauskerroilla. Kyseinen lämmittelyprotokolla suoritettiin samalla tavalla kaikilla kolmella voima-nopeus-profilointi testaustapahtumassa. Itse testisuorituksessa koehenkilöt suorittivat paikallaan lähtevästä suorituksesta kaksi (2) kertaa 30 metrin maksimaalisen kiihdytyksen noin kolmen minuutin passiivisella palautuksella.

Nopeustutkaa (Stalker ATS pro 2, TX, USA) käytettiin mittaamaan juoksun väliaikoja (0–5, 0–10, 0–20 ja 0–30 metriä). Koehenkilöiden testisuorituksista paras (nopein) sisällytettiin tulosten analysointivaiheeseen. Parasta kiihdytysuoritusta käytettiin myös mekaanisten muuttujien määrittämiseksi. Nopeustutkalla saatuja nopeus-aika tietoja käytettiin Samozinon ym. (2016) validoidulla kenttätestausmenetelmällä maksimaalisen juoksusuorituksen mekaanisten muuttujien määrittämiseksi. Menetelmän avulla, johon ainoastaan tarvittiin koehenkilöiden antropometriset tiedot ja spatiotemporaalet (väliajat ja/tai juoksun välitön nopeus) muuttujat, voitiin määrittää koehenkilöiden teoreettinen maksimaalinen voima (F_0 : $N \cdot kg^{-1}$), nopeus (V_0 : $m \cdot s^{-1}$) ja teho (P_{MAX} : $W \cdot kg^{-1}$) horisontaalisessa suunnannassa.

Tässä tutkimuksessa myös kuvattiin maksimaaliset juoksusuoritukset voima-nopeus-profiloinnin yhteydessä käyttämällä älypuhelimien videokameraa (Iphone 6, Apple Inc, Cupertino, Ca) (240 Hz, HD resoluutio 720 p). Tämän tarkoituksena oli selvittää vastuskelkkaharjoittelun vaikutuksia juoksun kinemaattisiin muuttujiin. Kyseiset tulokset vastuskelkkaharjoittelun vaikutuksista kinemaattisiin muuttujiin on esitetty Lahden ym. (2020) tutkimuksessa.

6.6 Harjoitusohjelma ja aikatauluk

Kuvassa 11 on esitetty havainnollistavasti vastuskelkkaharjoittelun toteutus harjoitusintervention aikana. Harjoitusintervention ajanjaksolle (viikot 1–9) oli suunniteltu yhteensä 15 vastuskelkkaharjoitus tapahtumaa ja viikolle 10 (taper-viikko, madallettu kokonaisvolyymi vastuskelkkaharjoittelussa) vain 1 harjoitustapahtuma ennen loppumittauksia. Viikkosyklin aikana koehenkilöt suorittivat kaksi vastuskelkkaharjoitusta, joista ensimmäinen harjoituskerta suoritettiin 3 päivää (MD+3) edeltävän ottelun jälkeen ja toinen harjoituskerta 2 päivää (MD-2) ennen seuraavaa ottelua. Viikon ensimmäisellä harjoituskerralla (H1) suoritettiin pienempi kokonaisvolyymi vastuskelkkajuoksujen osalta, verrattuna toiseen harjoitustapahtumaan (H2). Vastuskelkkajuoksujen jälkeen koehenkilöt suorittivat harjoituksen yhteydessä 1–2 vapaata (20 metrin maksimaalista kiihdytysuoritusta). Harjoitusintervention puolessavälissä (viikko 5) kumpaankin harjoitustapahtumaan lisättiin yksi vastuskelkkajuoksu enemmän progressiivisuutta ajatellen. Kaikki

vastuskelkkaharjoitukset tapahtuivat ennen joukkueen lajiharjoitus ja kokonaiskesto lämmittelyt mukaan lukien olivat noin 25–30 minuuttia.

Harjoitusinterventio - Vastuskelkkaharjoittelu						
Viikot 1-9						
Viikot	Vastuskelkkajuoksut		Juoksumatka (palautusaika)		Vapaat (ilmankuormaa) kiihdytykset	
	H1	H2	Optimitehoryhmä	Maksimivoimaryhmä	H1	H2
1		4			2	2
2-4	2	4			2	2
5-6	3	5			1	1
7	5		20 metriä (n. 3min)	15 metriä (n. 3min)	1	1
8	2	*			2	2
9	3	5			1	1
10 <i>(Taper)</i>	2					2

KUVA 11. Vastuskelkkaharjoittelun ohjelmointi harjoitusintervention aikana. H1, viikon ensimmäinen vastuskelkkaharjoitus; H2, Viikon toinen vastuskelkkaharjoitus; Taper, madallettu kokonaisvolyymi vastuskelkkaharjoittelussa.

Vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä koehenkilöt jaettiin omiin ryhmiinsä ja kummallakin ryhmällä oli käytössä 2–3 vastuskelkkaa sekä kirjallinen taulukko yksilöllistä kuormista, jonka myötä harjoitustapahtuma pystyttiin toteuttamaan tehokkaasti, huolehtien kuitenkin optimaalisesta palautumisajasta suoritusten välillä (noin 3 min). Vastuskelkka kiinnitettiin valjailla koehenkilöiden lantiolle tehokkaamman kiihdytysuorituksen mahdollistamiseksi ja liiallisten kinemaattisten muutosten välttämiseksi (Bentley ym. 2016). Valmentajan (tutkimuksen tekijän) toimesta huolehdittiin riittävästä palautumisajoista ja maksimaalisesta intensiteetistä jokaisen suorituksen yhteydessä. Kuvassa 12 on esitetty yhden koehenkilön suorittamana vastuskelkkajuoksu harjoitusintervention yhteydestä.



KUVA 12. Havainnollistava kuva vastuskelkkaharjoittelun yhteydestä harjoitusintervention aikana.

6.7 Tilastollinen analyysi

Tilastolliseen analyysiin käytettiin IBM SPSS Statistics -ohjelmistoa (14. versio). T-Testiä käytettiin viikoilla -1 ja 0 normaalijakautuneisuuden testaamiseksi nopeustietojen osalta. Toistomittausten varianssianalyysia (ANOVA – Bonferroni post-hoc) käytettiin ryhmien sisäisten ja ryhmien välisten erojen analysointiin eri muuttujien osalta (alkumittaukset viikolla 0 ja loppumittaukset viikolla 11). Excelin avulla laskettiin prosentuaaliset muutokset (ja keskihajonta, SD) eri muuttujien osalta alku- ja loppumittausten väliltä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin p-arvoa 0.05.

7 TULOKSET

7.1 Harjoitusmäärät ja poisjäännit

Alustavasti suunnitellusta 15 vastuskelkkaharjoituskerrasta pystyttiin todellisuudessa toteuttamaan 13 vastuskelkkaharjoitus tapahtumaan. Tähän vaikutti viikolla 7 ja 8 joukkueen lyhyt harjoitustauko ja ulkomaanleiri. 9 viikon harjoitusintervention aikana optimitehoryhmän koehenkilöt suorittivat keskimäärin 10,3 vastuskelkkaharjoitusta ja kun puolestaan maksimivoimaryhmän vastaava määrä oli 10,6. Satunnaisiin poisjäänteihin harjoitusintervention aikana vaikuttivat sairastelut (mm. flunssa) ja/tai matalan asteen otteluista tai lajiharjoituksista saadut kontaktivammat. Harjoitusintervention aikana koehenkilöille ei syntynyt lihasperäisiä ei-kontakti vammoja, jotka olisivat estäneet vastuskelkkaharjoitteluun osallistumisen.

Loppumittauksista ainoastaan yksi (1) koehenkilö joutui jäämään pois maksimivoimaryhmästä, kun puolestaan kaikki optimitehoryhmän koehenkilöt pystyivät osallistumaan viikolla 11 loppumittauksiin. Näin lopullinen koehenkilöiden lukumäärä optimitehoryhmän osalta oli 9 (N=9) ja maksimitehoryhmän osalta vastaavasti 9 (N=9), joiden mittaustulokset päätyivät lopulliseen analyysiin.

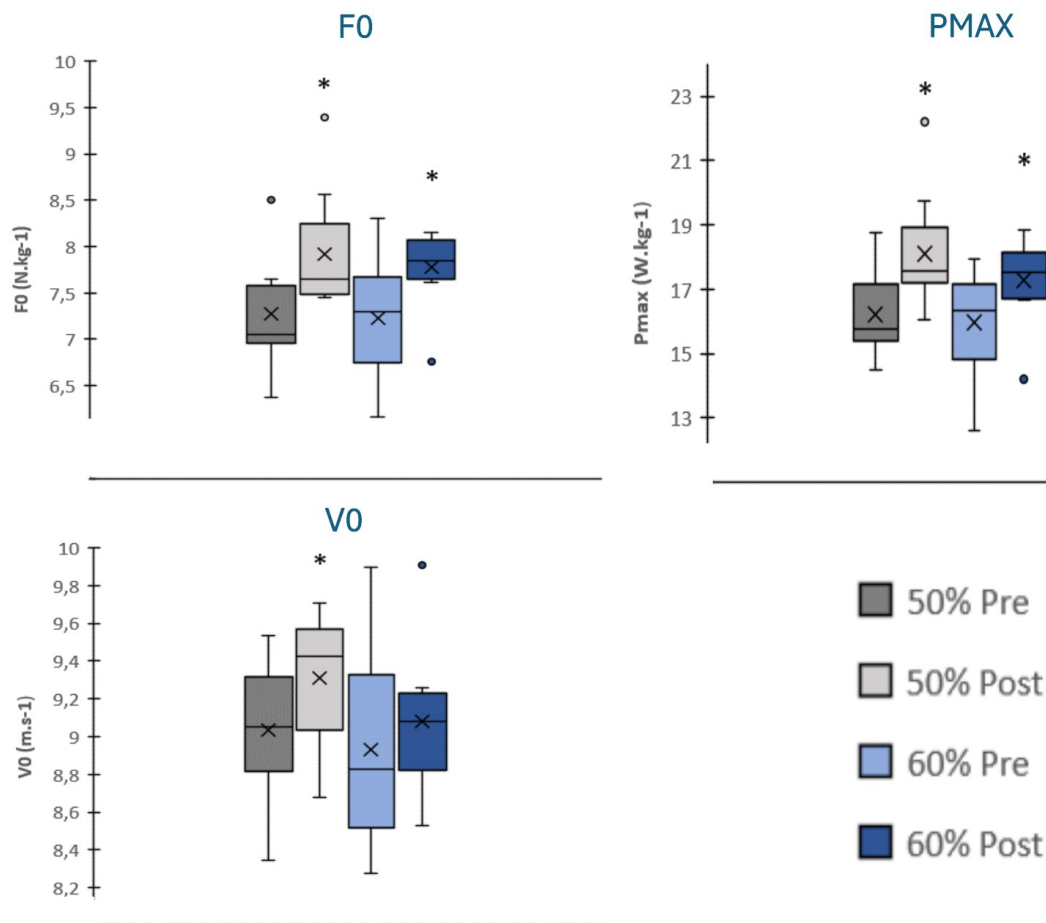
7.2 Juoksun voima-nopeusprofiilin mekaaniset muuttujat

Taulukossa 3 ja kuvassa 13 on esitetty voima-nopeus-profiilin tulokset maksimaalisen horisontaalisen voiman (F_0), maksimaalisen tehon (P_{MAX}) ja nopeuden (V_0) osalta. Tuloksien perusteella sekä optimiteho- ja maksimivoimaryhmä paransivat tilastollisesti merkitsevästi mekaanisista muuttujista maksimaalista horisontaalista voimaa ($p = 0.013$ ja 0.003) ja tehoa ($p = 0.002$ ja 0.001), mutta ainoastaan optimitehoryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi teoreettista maksiminopeutta (optimitehoryhmän $p = 0.005$ ja maksimivoimaryhmän $p = 0.145$).

TAULUKKO 3. Tilastolliset muutokset mekaanisten muuttujien osalta. F0, maksimaalinen horisontaalinen voima; P_{MAX}, maksimaalinen horisontaalinen teho; V0, maksimaalinen nopeus; 50 %, optimitehoryhmä; 60 %, maksimivoima ryhmä; SD, keskihajonta. * p < 0.05 tilastollisesti merkitsevä ero mittausten ja ryhmien välillä.

Muuttuja	Ryhmä	Alkumittaus	Post	Muutos % ± SD	Ryhmän sisäinen p- arvo	Ryhmien välinen p-arvo
F0 (N.kg-1)	50 %	7,27 ± 0,59	7,92 ± 0,65	9,23 ± 8,65	P = 0.013*	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä p = 0.66
	60 %	7,23 ± 0,63	7,77 ± 0,42	7,84 ± 5,93	P = 0.003*	
	Molemmat	7,25 ± 0,60	7,85 ± 0,54	8,54 ± 7,23		
P _{MAX} (W.kg-1)	50 %	16,23 ± 1,31	18,10 ± 1,82	11,64 ± 8,01	P = 0.002*	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä p = 0.246
	60 %	15,98 ± 1,66	17,26 ± 1,35	8,36 ± 5,24	P = 0.001*	
	Molemmat	16,11 ± 1,46	17,68 ± 1,62	10,00 ± 6,78		
V0 (m/s)	50 %	9,03 ± 0,36	9,31 ± 0,34	3,08 ± 2,51	P = 0.005*	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä p = 0.304
	60 %	8,93 ± 0,51	9,08 ± 0,39	1,79 ± 3,23	P = 0.145	
	Molemmat	8,98 ± 0,43	9,19 ± 0,37	2,43 ± 2,88		

Prosentuaaliset parannukset olivat suurempia optimitehoryhmällä maksimaalisessa horisontaalisessa voiman (9,23 ± 8,65 vs. 7,84 ± 5,93), tehon (11,64 ± 8,01 vs. 8,36 ± 5,24) ja nopeuden (3,08 ± 2,51 vs. 1,79 ± 3,23) osalta verrattuna maksimivoimaryhmään. Ryhmien välisessä vertailussa tilastollisesti merkittäviä muutoksia ei havaittu.



KUVA 13. Voima-nopeus-profiilin tulokset. Harmaa 50 % pre ja post, optimitehoryhmän alkua ja loppumittaustulokset; sininen 60 % pre ja post, maksimitehoryhmän alkua ja loppumittaustulokset. * $p < 0.05$ tilastollisesti merkittävä muutos mittausten välillä.

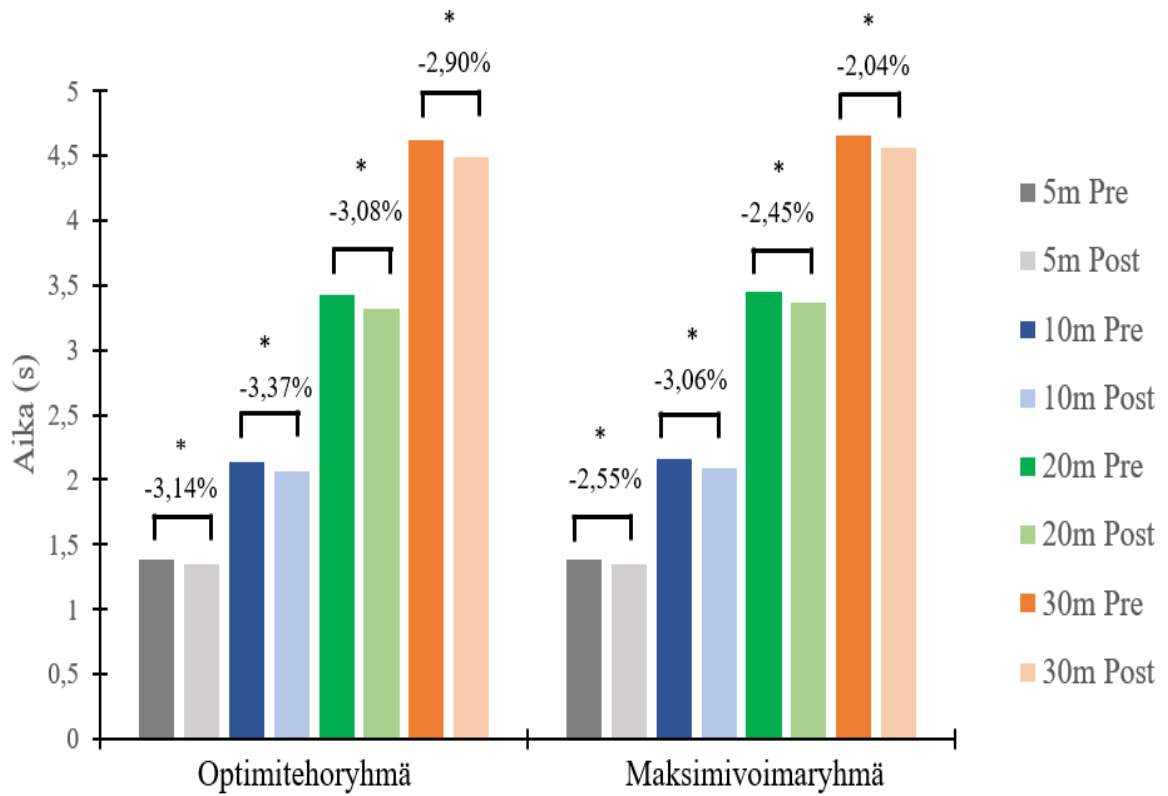
7.3 Juoksun väliaikojen muutokset

Maksimaalisen juoksutestin väliaikojen osalta kumpikin ryhmä paransivat (laskivat) tilastollisesti merkitsevästi kaikkia mitattuja väliaikoja (5, 10, 20 ja 30 metriä). Taulukossa 4 on esitetty tilastollinen analyysi juoksunväliaikojen muutoksista ryhmien sisällä ja ryhmien välinen tilastollinen merkitsevyys.

TAULUKKO 4. Ryhmien väliaikojen muutokset ja ryhmien välinen vertailu. 50 %, optimitehoryhmä; 60 % maksimivoimaryhmä; SD, keskihajonta. * $p < 0.05$.

Muuttuja	Ryhmä	Pre	Post	Muutos % ± SD	Ryhmän sisäinen p-arvo	Ryhmien välinen p- arvo
5 m (s)	50 %	1,39 ± 0,04	1,34 ± 0,04	-3,14 ± 3,82	$p = 0.035^*$	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä $p = 0.659$
	60 %	1,39 ± 0,05	1,35 ± 0,04	-2,55 ± 1,65	$p = 0.002^*$	
	Molemmat	1,38 ± 0,05	1,35 ± 0,04	-2,84 ± 2,87		
10 m (s)	50 %	2,14 ± 0,06	2,07 ± 0,06	-3,37 ± 2,93	$p = 0.008^*$	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä $p = 0.798$
	60 %	2,15 ± 0,08	2,09 ± 0,06	-3,06 ± 1,65	$p = 0.001^*$	
	Molemmat	2,14 ± 0,07	2,08 ± 0,06	-3,21 ± 2,31		
20 m (s)	50 %	3,43 ± 0,09	3,32 ± 0,10	-3,08 ± 2,4	$p = 0.005^*$	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä $p = 0.539$
	60 %	3,45 ± 0,12	3,36 ± 0,10	-2,45 ± 1,47	$p = 0.001^*$	
	Molemmat	3,44 ± 0,11	3,33 ± 0,10	-2,77 ± 1,96		
30 m (s)	50 %	4,62 ± 0,10	4,49 ± 0,12	-2,9 ± 1,92	$p = 0.002^*$	Optimitehoryhmä vs. Maksimivoimaryhmä $p = 0.355$
	60 %	4,66 ± 0,18	4,56 ± 0,14	-2,04 ± 1,58	$p = 0.006^*$	
	Molemmat	4,64 ± 0,14	4,53 ± 0,13	-2,47 ± 1,76		

Prosentuaalisesti optimitehoryhmä paransi (laski) kaikki väliaikoja maksimivoimaryhmää paremmin, mutta tilastollisesti erot eri väliaikojen osalta eivät olleet merkittäviä ryhmien välisessä vertailussa. Kuvassa 14 havainnollistettu prosentuaaliset muutokset kummankin ryhmän osalta maksimaalisen juoksutestin väliajoista.



KUVA 14. Optimiteho- ja maksimivoimaryhmän prosentuaaliset muutokset 30 metrin maksimaalisesta juoksutestistä. Pre, alkumittaus; Post, loppumittaus. * $p < 0.05$.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen perusteella suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu on tehokas harjoitusmuoto kehittämään jalkapalloilijoilla kiihdytyskyvyn kannalta oleellisia mekaanisia muuttujia ja samalla parantamaan nopeusominaisuuksia varsinkin lyhyemmillä etäisyyksillä. Toisaalta tutkimuksessa käytettyjen kahden eri kuormitusmallin väliset erot niin mekaanisissa muuttujissa, kuin nopeuden muutoksissa 30 metrin maksimaalisessa juokсутestissä eivät olleet merkittäviä.

8.1 Voima-nopeus-profiilin muutokset

Tässä pro gradu – tutkielmassa osoitettiin suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun kehittävän tilastollisesti merkittävästi horisontaalista voiman- (F_0) ja tehotuottoa (P_{MAX}) kummallakin tutkimuksessa käytetyllä kuormitusmallilla. Voima-nopeus profiloinnin maksimaalista teoreettista nopeutta (V_0) kuitenkin vain optimitehoryhmä paransi tilastollisesti merkitsevästi. Ryhmien välisessä vertailussa tilastollisesti merkitseviä eroja ei kuitenkaan havaittu minkään mekaanisen muuttujan osalta. Prosentuaaliset (%) muutokset olivat kuitenkin suurempia optimitehoryhmällä maksimaalisen horisontaalisen voiman- (F_0 : $9,23 \pm 8,65$ vs. $7,84 \pm 5,93$), tehon- (P_{MAX} $11,64 \pm 8,01$ vs. $8,36 \pm 5,24$) ja nopeusominaisuuksien (V_0 : $3,08 \pm 2,51$ vs. $1,79 \pm 3,23$) osalta verrattuna maksimivoimaryhmään.

Tutkimuksen löydökset ovat linjassa aikaisempien tutkimustulosten kanssa, joissa on osoitettu suuremmilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun kehittävän tehokkaasti urheilijoiden maksimaalista horisontaalista voimantuottoa (F_0) ja sen seurauksena kiihdytyskykyä, varsinkin lyhyemmillä matkoilla (0–20 metriä) (Kawamori ym. 2014; Morin ym. 2017). Suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu johtaa pidentyneisiin kontaktiaikoihin jokaisella askeleella ja näin pidentyneeseen aikaan tuottaa horisontaalista voimaa. Kiihdytyskyvyn ollessa vahvasti yhteydessä horisontaaliseen voimantuottoon (Hicks ym. 2020), voidaan olettaa kyseisen harjoitusmuodon mahdollistaneen tehokkaan (ja spesifisen) mekaanisen ylikuormittamisen haluttujen harjoitusadaptaatioiden saavuttamiseksi. (Morin ym. 2017.)

Vaikka Morin ym. (2017) raportoivat suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun tilastollisesti merkitsevästi parantavan horisontaalista voiman- ja tehontuottoa, tämän tutkimuksen tulokset muutoksien osalta eroavat kuitenkin suuruudeltaan aikaisemmin esitetyn tutkimuksen tuloksista. Morinin ym. (2017) tutkimuksessa käytettiin 80 % kehonpainosta suuruista kuormaa vastuskelkkaharjoittelussa, joka paransi tilastollisesti merkitsevästi jalkapalloilijoiden horisontaalista voiman- (F_0) ja tehontuottoa (P_{MAX}). Tutkimuksessa pelaajien horisontaalinen voimantuotto lisääntyi lähtötilanteesta noin 6 % (6.91 ± 0.47 vs. 7.33 ± 0.66 N/kg) ja tehontuotto noin 5 % (14.7 ± 1.2 vs. 15.4 ± 1.7 W/kg). (Morin ym. 2017.) Tässä tutkimuksessa saadut prosentuaaliset parannukset ovat hieman suurempia optimateho- ja maksimivoimaryhmällä niin horisontaalisen voiman- kuin tehontuoton osalta (F_0 noin 9 ja 8 %; P_{MAX} 12 ja 8 %) verrattuna edellä mainittuun tutkimukseen (Morin ym. 2017), vaikka tämän tutkimuksen voima- ja tehontuotto ominaisuudet olivat jo lähtötilanteessa korkeammat tämän tutkimuksen koehenkilöillä (F_0 $7,25 \pm 0,6$ N/kg ja P_{MAX} $16,11 \pm 1,46$ W/kg). Tuloksia ja muutoksien suuruutta voi mahdollisesti selittää tutkimuksissa käytetyillä menetelmillä vastuskelkkaharjoittelun kuormien määrittelyssä.

Cross ym. (2017) osoittivat maksimaalistentehontuoton esiintyvän vastuskelkkaharjoittelussa kuormalla, joka vastaa noin 50 % laskua maksimaalisesta juoksunopeudesta (Cross ym. 2017), ja tässä tutkimuksessa vaadittu kuormitusmalli kyseiseen nopeuden muutokseen vastasi optimatehoryhmällä jopa noin 94 % koehenkilöiden kehonpainosta. Tässä tutkimuksessa käytetty optimatehoryhmän kuormitusmalli oli siis suurempi mitä Morinin ym. (2017) tutkimuksessa vastuskelkkaharjoitteluun käytetyt kuormitusmallit (80 % kehonpainosta), jolloin on mahdollista, että kehonpainoon suhteutettu kuormien valinta ei ole mahdollistanut optimaalisia harjoitusvasteita horisontaalisen voiman- ja tehontuoton kehittymiselle, ja näin mahdollisesti selittää tuloksien eroavaisuuksia prosentuaalisten muutosten osalta. Tämä myös korostaa vastuskelkkaharjoittelussa yksilöllisten kuormien määrittämistä, joka mahdollistaa tavoiteltujen harjoitusadaptaatioiden saavuttamista.

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on huomionarvoista, että tässä tutkimuksessa saavutetut keskiarvoiset maksimaalisen horisontaalisen voimantuoton arvot ovat kuitenkin matalampia verrattuna aikaisemmassa kirjallisuudessa esitettyihin jalkapalloilijoiden arvoihin. Haugen ym. (2019) raportoivat Norjan korkeimmalla tasolla pelaavien kenttäpelaajien keskiarvoiseksi

maksimaalisen horisontaalisen voimantuoton (F_0) olevan $8,4 \pm 0,5$ N/kg käyttämällä vastaavasti Samozinon ym. (2016) kehittämää kenttätestausmenetelmää jalkapalloilijoiden voima-nopeus-profilointiin. (Haugen ym. 2019.) Tässä tutkimuksessa vastuskelkkaharjoittelu nosti kummankin ryhmän keskiarvoiseksi maksimaaliseksi horisontaaliseksi voimantuotoksi $7,85 \pm 0,54$ N/kg, joka on edelleen matalampi verrattuna Norjan pääsarjatason pelaajien vastaaviin arvoihin. Vaikka tässä tutkimuksessa 9 viikon harjoitusinterventio oli riittävä saamaan merkittäviä parannuksia aikaan koehenkilöiden horisontaalisessa voiman- ja tehontuotossa, mahdollisesti pidempi aika ja harjoittelun variointi tarvitaan saavuttamaan kansainvälisellä tasolla pelaavien pelaajien arvot horisontaalisen voimantuoton ja näin kiihdytyskyvyn suhteen.

Haugen ym. (2019) myös osoitti maksimaalisen horisontaalisen voimantuoton, sekä muiden mekaanisten muuttujien (P_{MAX} ja V_0) olevan korkeampi korkeamman tason pelaajilla verrattuna matalamman tason pelaajiin (Haugen ym. 2019). Norjan pääsarjan ollessa lähtökohtaisesti kovempi tasoisempi sarja verrattuna Suomen Veikkausliigaan (UEFA), johon tutkimuksen koehenkilöt osallistuivat, voidaan voima-nopeusprofilointia käyttää yhtenä suorituskyvyn mittarina arvioimaan kotimaisten pelaajien voima-nopeusominaisuuksia suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin kovemmissa sarjoissa pelaavien pelaajien arvoihin. Tämän lisäksi voima-nopeusprofilointia voidaan soveltaa mahdollisesti ns. talenttien tunnistamisessa voima-nopeusominaisuuksien osalta.

Tämän tutkimuksen tulokset myös osaltaan kumoavat aikaisemmassa kirjallisuudessa esitettyä ”10 prosentin sääntöä” (Alcaraz ym. 2009; Lockie ym. 2003), ainakin kiihdytyskyvyn osalta. Varsinkin, kun uudemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu ei aiheuta merkittäviä negatiivisia muutoksia juoksun kinemaattisissa muuttujissa pidemmän harjoitusjakson jälkeen, mutta selkeästi merkittävämpiä parannuksia maksimaalisessa horisontaalisessa voimantuotossa verrattuna ilman vastusta suoritettuun nopeusharjoitteluun (Lahti ym. 2020). Tämän tiedon myötä valmentajat voivat rohkeammin soveltaa yksilöllisesti määritettyjä suuria kuormitusmalleja vastuskelkkaharjoittelussa urheilijoiden kiihdytyskyvyn kehittämiseksi. Vastuskelkkaharjoittelussa on kuitenkin huomioitava urheilijan kehittymispotentiaali nopeus-voima-profilointia hyödyntäen, kun vastuskelkkaharjoittelussa käytetään suuria kuormia. Toisessa tutkimukseen Lahti ym. (2020)

raportoivat lähtötason ollessa jo suuri maksimaalisen horisontaalisen voimantuoton osalta (> 8,4 N/kg) tarjoaa suuret kuormat pienemmän potentiaalisen voimaominaisuuksien kehittymiselle (Lahti ym. 2020). Tulevaisuudessa tulisi selvittää tarkemmin miten erilaisen voima-nopeus-profiilin omaavien urheilijoiden kannalta tulisi optimoida vastuskelkkaharjoittelussa kuormien valinta kiihdytyskyvyn kehittymisen maksimoimiseksi.

8.2 Juoksunopeuden muutokset

Harjoitusintervention jälkeen kumpikin ryhmä paransi (laski) maksimaalisen juoksutestin väliaikoja (0–5, 0–10, 0–20 ja 0–30 metriä) ja muutokset olivat samalla tilastollisesti merkitseviä. Ryhmien välillä tilastollisesti merkitseviä eroja ei myöskään ilmennyt väliaikojen osalta. Prosentuaaliset muutokset olivat mekaanisten muutoksien kaltaisesta parempia optimitehoryhmällä verrattuna maksimivoimaryhmään tarkasteltaessa kaikkia väliaikoja. Lähtökohtaisesti oli arvioitu maksimivoimaryhmän parantavan enemmän lyhyen etäisyyden väliaikoja (10 metriä), mutta optimitehoryhmän parannukset (%) olivat kuitenkin suurempia ($-3,37 \pm 2,93$ vs. $-3,06 \pm 1,65$) ja pidemmällä etäisyydellä (20 metriä) oletettavasti optimitehoryhmä paransi enemmän suhteessa maksimivoimaryhmään ($-3,08 \pm 2,4$ vs. $-2,45 \pm 1,47$).

Jalkapallossa kiihdytyskyky on merkittävässä roolissa pelaajien kokonaisvaltaisen suorituskyvyn kannalta ja otteluissa suurin osa korkean intensiteetin kiihdytyksistä tapahtuu suhteellisen lyhyillä etäisyyksillä (10-20metriä). Tämän lisäksi juoksunopeuden on osoitettu erottavan korkean tason pelaajat matalamman tason pelaajista (Faude ym. 2012; Haugen ym. 2013). Tämä korostaa harjoittelussa kiihdytyskyvyn ja siihen vaikuttavien tekijöiden kehittämisen tärkeyttä jalkapalloilijoilla. Maksimaalisen horisontaalisen voiman ja tehon ollessa merkittävästi kiihdytyskykyä selittävät tekijät (Morin ym. 2011; Morin ym. 2012; Hicks ym. 2020), tämän tutkimuksen tulosten perusteella suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu tarjoaa potentiaalisen harjoitusmuodon valmentajille pelaajiensa kiihdytyskyvyn kehittämiseksi.

Aikaisemmissa tutkimuksissa, joissa on käytetty selkeästi matalampia kuormitusmalleja (10 % kehonpainosta tai 10 % nopeuden muutos) on löydetty eriäviä tuloksia vastuskelkkaharjoittelun tehokkuudesta ilman ulkoista kuormaa toteutettuun nopeusharjoitteluun verrattuna (Zafeiridis ym. 2005; Spinks ym. 2007). Kiihdytyskyvyn kannalta ilman vastusta toteutettu nopeusharjoittelu ei saa aikaan mekaanisten muuttujien ylikuormitusta, jolloin mahdollisia hermolihajärjestelmän adaptaatioita ei saada aikaan kiihdytyskyvyn kehittämiseksi (Kawamori ym. 2014). Morin ja Samozino (2016) korostivat, että mitä lyhyempi etäisyys on kyseessä, sitä suurempi merkitys on horisontaalisella voimantuotolla. Tämä myös tukee suurien kuormien käyttöä vastuskelkkaharjoittelussa mekaanisten ominaisuuksien ylikuormittamiseksi ja näin juoksunopeuden kehittämiseksi lyhyillä etäisyyksillä. Toisaalta tämän tiedon pitäisi tukea tässä tutkimuksessa maksimivoimaryhmän suurempaa kehitystä varsinkin väliaikojen lyhyemmillä etäisyyksillä (5 ja 10 metriä). Esimerkiksi Cahill ym. (2019) raportoi kuorman, mikä vastasi 75 % nopeuden laskua, parantavan 5 ja 10 metrin juoksuaikaa eli ensimmäisillä askeleilla saavutettua nopeutta tilastollisesti paremmin verrattuna kuormitusmalliin, mikä laski 50 % juoksunopeutta. Puolestaan väliajat 10 ja 20 välillä parani tehokkaammin kevyemmällä kuormitusmallilla. (Cahill ym. 2019.)

Tässä tutkimuksessa pidemmän etäisyyden (30 metrin väliaika) prosentuaaliset parannukset olivat muihin väliaikoihin nähden pienimmät (V_0 myöskään ei tilastollisesti parantunut maksimivoimaryhmällä). Vastuskelkkaharjoittelua suurilla kuormilla toteutettuna ei vastaa suoranaisesti huippunopeusvaiheen mekaanisia ja suoritusteknisiä piirteitä. Huippunopeusvaihe selittyy enemmän lyhyiden kontaktiaikojen ja suurempien vertikaalisen maanreaktiovoimien kautta ja ollen tekniseltä suoritukseltaan erilainen kiihdytysvaiheeseen verrattuna. (Alcaraz ym. 2009; Nagahara ym. 2018.) Eliittitason pikajuoksijoiden on todettu juoksevan pystysuoremmassa asennossa verrattuna hitaampiin, matalamman tason juoksijoihin, ja samalla tämä huippunopeusvaiheen asento eroaa vastuskelkkaharjoittelun yhteydessä esiintyvistä eteenpäin nojaavasta kiihdytysasennosta. Toisaalta kiihdytyskyvyn kannalta eteenpäin nojaaminen mahdollistaa paremman voimantuoton horisontaalisessa suunnassa. (Alcaraz, ym. 2010; Alcaraz, ym. 2012.) Urheilijoiden, jotka tuottavat suurempia horisontaalisen voimantuoton arvoja on todettu kallistuvan enemmän eteenpäin juoksun kiihdytysvaiheessa ja suurempi eteenpäin kallistuminen on tämän myötä ollut yhteydessä parempaa kiihdytyskykyyn (Kugler & Janshen 2010). Näiden suoritusteknisten ja mekaanisten

tekijöiden myötä voidaan olettaa vastuskelkkaharjoittelun soveltuvat paremmin ainoastaan kiihdytysvaiheen ja alun nopeuden kehittämiseen, kun puolestaan ilman ulkoista vastusta, pidemmän etäisyyden maksimaaliset juoksuharjoitteet soveltuvat tehokkaammin maksimaalisen juoksunopeuden kehittämiseen. (Trumpf ym. 2016; Hicks ym. 2020.)

8.3 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät koehenkilöiden voima-nopeus-profiilin sekä vastuskelkkaharjoittelussa käytettyjen kuormien määrittämiseksi ovat aikaisemmassa kirjallisuudessa luotettavaksi määritellyjä menetelmiä (Samozino ym. 2016; Cross ym. 2017), jotka nostattavat tässä tutkimuksessa saatujen tulosten luotettavuutta. Tämän lisäksi tässä tutkimuksessa on pystytty käyttämään ammattitason jalkapalloilijoita koehenkilöitä ja vastuskelkkaharjoittelu sekä mittaukset ovat toteutettu todellisessa harjoitteluympäristössä sovellettuna joukkueen ja sen pelaajien harjoittelun rytmiin ja jaksotukseen. Tämä lisää tutkimuksessa käytettyjen harjoitusmenetelmien sovellettavuutta myös muissa vastaavissa ympäristöissä, varsinkin tutkimustulosten osoittaessa selkeän potentiaalisen suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun vaikutuksista pelaajien kiihdytyskyvyn kehittämisen näkökulmasta.

Tutkimukseen ja varsinkin tutkimus asetelmaan sisältyy kuitenkin myös heikkoutensa. Ensinnäkin kyseiseen tutkimukseen ei sisällynyt samasta ympäristöstä kontrolliryhmää, joka olisi esimerkiksi toteuttanut vastaavan kokonaisvolyymien nopeusharjoittelua ilman ulkoista kuormaa. Tämä olisi mahdollistanut paremman vertailun kahden eri kuormitusmallin vaikutuksista juoksun mekaanisiin tekijöihin ja juoksunopeuteen eri väliaikojen osalta suhteessa kontrolliryhmään.

Toisena heikkoutena on puutteet vertikaalisuunnan voimantuotto-ominaisuuksien mittaamisesta ja kyseisten ominaisuuksien mahdollisesta korrelaatiosta tutkimustulosten kanssa. Joukkueen koehenkilöt suorittivat harjoitusintervention aikana normaalisti joukkueen eristettyä voimaharjoittelua lajiharjoittelun ulkopuolella kaksi (2) kertaa viikossa. Toinen harjoituksista sisälsi perus- ja maksimivoima sekä teho-ominaisuuksien kehittämiseksi

kohdennettuja voimaharjoitteita, pääasiassa vertikaalisessa suunnassa. Toinen eristetyistä voimaharjoituksista puolestaan painottui enemmän lantion- ja keskivartalon alueen hallinta- ja voimaharjoitteluun (ei kohdennettua voimaharjoittelua alaraajoille). Tutkimuksissa on osoitettu esimerkiksi kyykkyliikkeen yhden toiston maksimikuorman (1 RM) kehityksen korreloivat vahvasti juoksunopeuden kehityksen kanssa (Seitz ym. 2014). Toisaalta vertikaalisen komponentin ei ole todettu olevan merkittävä tekijä maanreaktiovoimien osalta selittämään alun kiihdytyskykyä aikaisemmissa tutkimuksissa. (Morin ym. 2012; Rabita ym. 2015). Jimenez-Reyes ym. (2018) ovat myös osoittaneet, että korkean tason urheilijoilla nopeusvoima-profiilit vertikaali ja horisontaali suunnassa eivät vahvasti korreloi keskenään ja kiihdytyskyky on enemmän riippuvainen voimantuoton tehokkuudesta horisontaalisessa suunnassa. Samalla tutkijat totesivat, että voima-nopeus-profiilin muutokset yhden komponentin osalta (vertikaalinen tai horisontaalinen) ei välttämättä aiheuta vastaavia muutoksia toisen komponentin osalta voima-nopeus-profiilissa korkean tason urheilijoilla. (Jimenez-Reyes ym. 2018.)

8.4 Jatkotutkimus aiheet

Tämän tutkimuksen perusteella 9 viikkoa (2 kertaa viikossa) suurilla kuormilla suoritettua vastuskelkkaharjoittelua riittää kehittämään maksimaalista horisontaalista voiman- ja tehontuottoa Suomen pääsarjatason jalkapalloilijoilla. Tutkimuksen koehenkilöt jatkoivat vastuskelkkaharjoittelua läpi kilpailullisen kauden (1 x / viikko), mutta voima-nopeus-profilointia ei suoritettu enää kauden aikana, joten mahdolliset muutokset juoksun mekaanisissa muuttujissa kauden aikana eivät ole tiedossa. Haugenin (2019) tutkimuksen perusteella jalkapalloilijoiden nopeus ja voimantuotto-omaisuuksissa on vaihtelevuutta kauden eri vaiheissa. Esimerkiksi horisontaalisen voiman- ja tehontuoton on osoitettu olevan pienempi kilpakauden aikana, verrattuna ylimenokauteen (off-season), ja näin negatiivisesti vaikuttavan nopeusomaisuuksiin. Muutokset voivat mahdollisesti selittyä kilpakauden aikaisten kokonaiskuormituksen noususta ja otteluista syntyneen väsymyksen myötä. (Haugen ym. 2017.) Kiihdytyskyvyn ylläpitämisen kannalta olisi oleellista selvittää, minkälaisella kokonaisvolyymilla ja stimuluksella vastuskelkkaharjoittelua voidaan ja tulisi toteuttaa, jotta voidaan ylläpitää saavutettuja hermo-lihasjärjestelmän adaptaatioita kiihdytyskyvyn kannalta, mutta samalla välttää pelaajien liiallista kuormittamista.

Kirjallisuudessa on esitetty lupaavia tuloksia, joissa varsinkin pienellä kokonaisvolyymilla voidaan saada nopeasti positiivisia tuloksia ja akuutteja vasteita aikaan kiihdytyskyvyn osalta vastuskelkkaharjoittelussa. Winwood ym. (2009) osoittivat 15 metrin kiihdytysosuuden akuutit parannukset urheilijoilla, kun vastuskelkkaharjoittelussa käytettiin kuormitusmallia, joka vastasi 75 % urheilijoiden kehonpainosta (Winwood ym. 2009). Zisi ym. (2020) vastaavasti raportoi matalan kokonaisvolyymien vastuskelkkaharjoittelun (2 x 20 metriä) akuutisti parantavan 30 metrin maksimaalisen juoksusuorituksen kaikkia väliaikoja, kun kuormitusmalli vastasi maksimaalisen juoksunopeuden laskua 50 %. Vastuskelkkaharjoittelu ei akuutisti saanut aikaan tilastollisesti merkittäviä muutoksia mekaanisissa muuttujissa, mutta tutkijat osoittivat yksilöllisessä analyysissä positiivisia viitteitä maksimaalisen horisontaalisen tehon nousun ja kiihdytyskyvyn välillä. (Zisi ym. 2020.) Olisi oleellista selvittää, miten vastaavanlaiset, matalalla kokonaisvolyymilla toteutetut vastuskelkkaharjoitteluprotokollat mahdollistaisivat horisontaalisen voiman- ja tehontuoton ylläpitämisen (tai kehittämisen) kilpakauden aikana jalkapalloilijoilla.

Tässä tutkimuksessa kuormitusmallit oli määritelty kirjallisuudessa aikaisemmin esitettyjen menetelmien mukaisesti maksimaalisen tehontuoton kannalta (optimitehoryhmä) (Cross ym. 2017). Morin & Samozino (2016) ovat kuitenkin suositelleet yksilöiden voima-nopeus-profiilista saatujen tietojen perusteella, että harjoittelun tulee painottua horisontaaliseen voimaharjoitteluun tai horisontaalisen nopeusharjoitteluun, riippuen kummassa ominaisuudessa on enemmän vajavuutta kehittymisen näkökulmasta (Morin & Samozino (2016). Esimerkiksi horisontaalisen voimantasojen ollessa jo korkeat lähtötilanteessa (> 8.4 N/kg), potentiaali suurilla kuormilla toteutetun vastuskelkkaharjoittelun vaikutuksista adaptaatioille pienenee kyseisillä urheilijoilla horisontaalisen voiman kehittymiselle (Lahti ym. 2020). Tulevaisuudessa tarvitaan syvällisempää tutkimusta eri kuormitusmallien sovellettavuudesta erilaisen horisontaalisen voima-nopeus-profiilin omaaville pelaajille vastuskelkkaharjoittelussa.

Yhtenä mielenkiintoisena jatkotutkimusaiheena on myös voima-nopeus-profiilista saatujen mekaanisten muuttujien yhteys jalkapalloilijoiden takareisivammoihin. Eräissä tutkimuksissa on osoitettu kauden aikaisen horisontaalisen voimantuoton laskun olevan yhteydessä akuutteihin, kiihdytysosuuksissa esiintyneisiin ei-kontakti takareisivammoihin. Tutkijat

suosittelivat mekaanisten muuttujien, erityisesti maksimaalisen horisontaalisen voimantuoton monitorointia kauden aikana ja riittävän horisontaalisen voimantuoton ylläpitoa ns. suojaavan mekanismina takareisivammojen ennaltaehkäisyssä. (Mendiguchia ym. 2015.) Tutkimuksen otos oli kuitenkin kohtalaisen pieni, joten tulevaisuudessa horisontaalisen voimantuoton ja takareisivammojen yhteyttä sekä vastuskelkkaharjoittelun tarjoamaa potentiaalista suojaavaa harjoitusmuotoa tulee tutkia tarkemmin. Tämän tutkimuksen koehenkilöille kilpailukauden aikana esiintyi vain yksi (1) ei-kontakti takareisivamma, joka tutkijan näkökulmasta lisää mielenkiintoa esitettyä tutkimusasetelmaa kohtaan.

8.5 Loppupäätelmä

Tämä tutkimus osoitti 9 viikon harjoitusintervention suurilla kuormilla toteutettuna parantavan tehokkaasti jalkapalloilijoiden horisontaalista voiman- ja tehontuottoa kummallakin tutkimuksessa käytetyllä kuormitusmallilla. Vaikka ryhmien välillä ei todettu mekaanisissa muuttujissa (F_0 , P_{MAX}) tilastollisesti merkittäviä eroavaisuuksia, kaikki väliaikojen prosentuaaliset parannukset huomioiden, optimitehoa (50 % lasku maksimaalisesta juoksunopeudesta) stimuloiva kuormitusmalli näyttäisi antavan tehokkaamman harjoitusadaptaation jalkapalloilijoiden kiihdytyskyvyn parantamiseksi.

8.6 Käytännön sovellutukset

Tämän tutkimuksen perusteella suurilla kuormilla toteutettu vastuskelkkaharjoittelu kaksi (2) kertaa viikossa vain noin 20–30 minuuttia ennen lajiharjoitusta kehittää tehokkaasti jalkapalloilijoiden kiihdytyskykyä ja siihen liitännäisiä mekaanisia muuttujia. Yksilölliset vastuskelkkakuormat, jotka vastaavat urheilijoiden maksimaalista horisontaalista tehontuottoa (noin 50 % lasku maksimaalisesta juoksunopeudesta) todennäköisesti mahdollistaa parhaat harjoitusadaptaatiot hermolihasjärjestelmän kehittymisen kannalta kiihdytyskyvyn parantamiseksi. Vastuskelkkaharjoittelua suositellaan toteutettavan vasta riittävän palautumisjakson jälkeen edellisestä ottelusta (MD+3) ja ennen lajiharjoitusta, jotta urheilijat voivat toteuttaa nopeusharjoittelua mahdollisimman laadukkaasti ja palautuneessa tilassa.

Voima-nopeus- ja kuorma-nopeus-profiilin määrittämiseksi urheilijoille on kehitetty tutkijoiden toimesta Excel-tiedostot, jotka ovat vapaasti valmentajien ladattavissa tutkijoiden blogisivustoilta (J.B. Morin). Profiilien määrittämiseksi valmentajat tarvitsevat ainoastaan urheilijan antropometriset tiedot ja nopeustutkalla (myös älypuhelimella, mysprintAPP iOS) tai valokennoilla mitatut nopeus-aika- tai juoksusuorituksen väliaikatiedot. Näitä tietoja hyödyntäen valmentajat pystyvät määrittämään urheilijoiden yksilölliset vastuskelkkaharjoitteluun käytetyt kuormat ja seuramaan mekaanisten muuttujien sekä nopeuden kehittymistä ja harjoitusinterventioiden tehokkuutta.

LÄHTEET

- Alcaraz, P.E., Palao, J. & Elvira, J. 2009. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(2), 480-485. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318198f92c.
- Alvaraz, P.E., Elvira, L. & Palao, J. 2012. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24(2), 279-290. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x.
- Alcaraz, P.E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B.O. & Martinez-Rodriguez, A. 2018. The Effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: A Systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* 48 (9), 2143-2166.
- Andrzejewski, M., Chmura, J., Beata, P., Ryszard, R. & Andrzej, K. 2013. Analysis of Sprinting Activities of Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(8), 2134-2140. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318279423e.
- Bachero-Mena, B. & Gonzalez-Badillo, Juan. 2014. Effects of resisted sprint training on acceleration with three different loads accounting for 5, 12.5, and 20% of body mass. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28(10), 2954-2960. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000492.
- Bangsbo, J., Mohr, M. & Krstrup, P. 2006. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences* 24 (7), 665-674. DOI: 10.1080/02640410500482529.
- Barnes, C., Hogg, R.A. & Archer D. T. 2014. The Evolution of Physical and Technical Performance Parameters in the English Premier League. *International Journal of Sports Medicine* 35, 1-6. DOI: 10.1055/s-0034-1375695.
- Bauer, P. & Anzer, G. 2021. Data-driven detection of counterpressing in professional football: A supervised machine learning task based on synchronized positional and event data with expert-based feature extraction. *Data Mining and Knowledge Discovery* 35(6), 2009-2049. DOI: 10.1007/s10618-021-00763-7.
- Bourdon, P., Cardinale, M., Murray, A. Gastin, P. (2017). Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 2161-2170. DOI: 10.1123/IJSP.2017-0208.

- Bush, M., Barnes, C., Archer, C., Hogg, B. & Bradley, P. 2015. Evolution of match performance parameters for various playing positions in the English Premier League. *Human Movement Science* 39, 1-11. DOI: 10.1016/j.humov.2014.10.003.
- Cahill, M., Oliver, J., Cronin, J., Clark, K., Cross, M., Lloyd, R. & Lee, J. 2020. Influence of Resisted Sled-Pull Training on the Sprint Force-Velocity Profile of Male High- School Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 34(10), 2751-2759. doi: 10.1519/JSC.0000000000003770.
- Clark, K., Stearne, D., Walts, C. & Miller, A. 2010. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs. weighted vests. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(12), 3287-3295. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181b62c0a.
- Cormie, P., McGuigan, M. & Newton, R. 2011. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine* 41(2), 125-146. DOI: 10.2165/11538500-000000000-00000.
- Cross, M.R., Brughelli, M., Samozino, P., Brown, S.R. & Morin, J.B. 2017. Optimal loading for maximizing power during sled resisted sprinting. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12, 1069–1077.
- Cross, M.R., Brughelli, M., Samozino, P. & Morin J.B. 2017. Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review. *Sports Medicine* 47(7), 1255-1269. doi: 10.1007/s40279-016-0653-3.
- Cross, M.R., Samozino, P., Brown, S. & Lahti, J. 2019. Comment on: “The Effectiveness of Resisted Sled Training (RST) for Sprint Performance: A Systematic Review and Meta-analysis”. *Sports Medicine* 49(2), 349-351. doi: 10.1007/s40279-018-01038-w.
- Cross, M.R., Tinwala, F., Lenetsky, S., Brown, S., Brughelli, M., Morin J.B. & Samozino, P. 2019. Assessing Horizontal Force Production in Resisted Sprinting: Computation and Practical Interpretation. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 14(5), 689-693. doi: 10.1123/ijsp.2018-0578.
- Delecluse, C., Coppenolle, H., Willems, E., Leemputte, V., Diels, R. & Goris, M. 1995. Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27(8), 1203-1209.
- 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. DOI: 10.1055/s-0028-1105950.

- Faude, O., Koch, T. & Meyer, T. 2012. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences* 20(7), 625-631. doi: 10.1080/02640414.2012.665940.
- Gonzalez-Rodenas, J., Moreno-Perez, V., Lopez-Del Campo, R., Resta, R. & Del Coso, J. 2024. Technical and tactical evolution of the offensive team sequences in LaLiga between 2008 and 2021. Is Spanish football now a more associative game? *Biology of Sports* 41(2), 105-113. DOI: 10.5114/biolSport.2024.131818.
- Gualtieri, A., Rampinin, E., Dello Lacono, 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* 13(5). DOI: 10.3389/fspor.2023.1116293.
- Harper, D., Carling, C. & Kiely, J. 2019. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine* 49(12), 1923-1947. doi: 10.1007/s40279-019-01170-1.
- Harper, D., Sandford, G., Clubb, J. & Young, M. 2021. Elite Football of 2030 will not be the same as that of 2020: What has evolved and what needs to evolve? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 31(2), 493-494. doi: 10.1111/sms.13876.
- Haugen, T., Tønnessen, E., Hisdal, J. & Seiler, S. 2014. The role and development of sprinting speed in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 9(3), 432-441. doi: 10.1123/ijsp.2013-0121.
- Haugen, T. 2017. Soccer seasonal variations in sprint mechanical properties and vertical jump performance. *International Journal of Fundamental and Applied Kinesiology* 50(1), 102-108. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/6301>.
- Haugen, T., Breitschädel, F. & Seiler, S. 2019. Sprint mechanical variables in elite athletes: Are force-velocity profiles sport specific or individual? *Plos One* 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215551>.
- Haugen, T., Breitschädel, F. & Seiler, S. 2020. Sprint mechanical properties in soccer players according to playing standard, position, age and sex. *Journal of Sports Sciences* 38(9), 1070-1076. DOI: 10.1080/02640414.2020.1741955.

- Hicks, D., Drummond, C., Williams, K. & van den Tillaar, R. 2020. The effect of a combined sprint training intervention on sprint force-velocity characteristics in junior Australian football players. *Peer J* (11). <https://doi.org/10.7717/peerj.14873>.
- Hunter, J., Marshall, R. & McNair, P. 2005. Relationships between Ground Reaction Force Impulse and Kinematics of Sprint-Running Acceleration. *Journal of Applied Biomechanics* 21(1), 31-43. DOI: 10.1123/jab.21.1.31.
- Ingebrigtsen, J., Dalen, T., Hjelde, H., Drust, B. & Wisløff, U. 2015. Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play. *European Journal of Sport Science* 15(2), 101-110. DOI: 10.1080/17461391.2014.933879.
- Jarvis, P., Turner, A., Chavda, S. & Bishop, C. 2017. The acute effects of heavy sled towing on subsequent sprint acceleration performance. *Journal of Trainology* 6(1). DOI: 10.17338/trainology.6.1_18.
- Kawamori, N., Nosaka, K. & Newton, R. 2013. Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27(3), 568-573. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318257805a.
- Kawamori, N., Newton, R. & Nosaka, K. 2014. Effects of weighted sled towing on ground reaction force during the acceleration phase of sprint running. *Journal of Strength and Conditioning Research* 32(12), 1139-1145. DOI: 10.1080/02640414.2014.886129.
- Krustrup, P., Mohr, M., Ellingsgaard, H. & Bangsbo, J. 2005. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 37(7), 1242-1248. DOI: 10.1249/01.mss.0000170062.73981.94.
- Kugler, F. & Janshen, L. 2010. Body position determines propulsive forces in accelerated running. *Journal of Biomechanics* 43(2), 343-348. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2009.07.041.
- Lahti, J., Huuhka, T., Romero, v. Bezodis, I., Morin, J.B. & Häkkinen, K. 2020. Changes in sprint performance and sagittal plane kinematics after heavy resisted sprint training in professional soccer players. *Peer J*. DOI:10.7717/peerj.10507.
- Lahti, J., Jimenez-Reyes, P., Cross, M., Samozino, P., Chassigny, P., Simond-Cote, B., Ahtiainen, J. & Morin, J.B. (2020). Individual Sprint Force-Velocity Profile Adaptations to In-Season Assisted and Resisted Velocity-Based Training in Professional Rugby. *Sports* 8(5). <https://doi.org/10.3390/sports8050074>.

- Lockie, R., Murphy, A. & Spinks, C. 2003. Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17(4), 760-767. DOI: 10.1519/1533-4287(2003)017<0760:eorsto>2.0.co;2.
- Lockie, R., Murphy, A., Schultz, A., Knight, T., Janse de Jonge, A. 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. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318234e8a0.
- Martinez-Hernandez, D., Quinn, M. & Jones, P. 2023. Linear advancing actions followed by deceleration and turn are the most common movements preceding goals in male professional soccer. *Science & Medicine in Football* 7(1), 25-33. DOI: 10.1080/24733938.2022.2030064.
- Mero, A. & Komi, P. 1985. Effects of Supramaximal Velocity on Biomechanical Variables in Sprinting. *Journal of Applied Biomechanics* 1(3), 240-252. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsb.1.3.240>.
- Mero, A., Komi, P. & Gregor, R. 1992. Biomechanics of sprint running - A review. *Sports Medicine* 13(6), 376-392. doi: 10.2165/00007256-199213060-00002.
- Modric, T., Versic, S., Stonajovic, M., Chmura, P., Andrejewski, M., Konefal, M. & Sekulic, M. 2023. Factors affecting match running performance in elite soccer: Analysis of UEFA Champions League matches 40(2), 409-416. DOI: 10.5114/biolSport.2023.116453.
- Moir, G.L. 2015. *Strength and Conditioning. A Biomechanical Approach*, Chapter: 13. Publisher: Jones & Bartlett Learning.
- Monte, A., Nardello, F. & Zamparo, P. 2017. Sled Towing: The Optimal Overload for Peak Power Production. *International Journal of Sport Physiology and Performance*. 12(8), 1052-1058. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0602.
- Morin, J.B., Edouard, P. & Samozino, P. 2011. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43(9), 1680-1688. doi: 10.1249/MSS.0b013e318216ea37.
- Morin, J.B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P. & Lacour, J.N. 2012. Mechanical Determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology* 112(11), 3921-3930. doi: 10.1007/s00421-012-2379-8.

- Morin, J.B., Petrakos, G. Jimenez-Reyes, P. Brown, S.R. Samozino, P. & Cross, M.R. 2017. Very-heavy sled training for improving horizontal-force output in soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12, 840–844.
- Morin, J.B. & Samozino, P. 2016. Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 11(2), 267-272. DOI: 10.1123/ijsp.2015-0638.
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. 2018. Association of Sprint Performance With Ground Reaction Forces During Acceleration and Maximal Speed Phases in a Single Sprint. *Journal of Applied Biomechanics* 34(2), 104-110. DOI: 10.1123/jab.2016-0356.
- Nassis, G. P., Krustup, P., Mohr, M. & Randers, M. B. 2020. Elite football of 2030 will not be the same as that of 2020. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 30 (6), 962-964. <https://doi.org/10.1111/sms.13681>.
- Oliva-Lozano, J., Fortes, V., Krustup, P. & Muyor, J. 2020. Acceleration and sprint profiles of professional male football players in relation to playing position. *Journal of Human Kinetics* 75, 195-205. DOI: 10.2478/hukin-2020-0050.
- Oliva-Lozano, J., Fortes, V., Lopez Del Campo, R., Resta, R. & Muyor, J. 2022. When and How do Professional Soccer Players Experience Maximal Intensity Sprints in LaLiga? *Science and Medicine in Football*. DOI: 10.1080/24733938.2022.2100462.
- Petrokas, G., Egan, B. & Morin, J.B. 2016. Resisted sled sprint training to improve sprint performance: A Systematic review. *Sports Medicine* 46 (3), 381-401.
- Prieske, O., Kruger, T., Aehle, M., Bauer, E. & Granacher, U. 2018. Effects of Resisted Sprint Training and Traditional Power Training on Sprint, Jump, and Balance Performance in Healthy Young Adults: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Physiology* 9, 156. DOI: 10.3389/fphys.2018.00156.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Saez-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. doi: 10.1111/sms.12389.
- Rampinini, E., Coutts, J., Castagna, C., Sassi, R. & Impellizzeri, F. 2007. Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine* 28(12), 1018-1024. DOI: 10.1055/s-2007-965158.

- Rhodes, D., Valassakis, S., Bortnik, L., Eaves, R., Harper, D. & Alexander, J. 2021. The Effect of High-Intensity Accelerations and Decelerations on Match Outcome of an Elite English League Two Football Team. *International Journal of Environmental Research & Public Health*. 18(18), 9913. doi: 10.3390/ijerph18189913.
- Rumpf, M., Lockie, R., Cronin, J. & Jalilvand, F. 2016. Effect of Different Sprint Training Methods on Sprint Performance Over Various Distances: A Brief Review. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30(6), 1767-1685. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001245.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villareal, E. & Morin, J.B. 2016. A Simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 26(6), 648–658. doi: 10.1111/sms.12490. Epub 2015 May 21.
- Sims, L. 2017. Speed Development - A Critical Review. <https://www.researchgate.net/publication/320107786>.
- Slawinski, J. Morin, J.B., Samozino, P. & Rabita, G. 2015. Sprint mechanics or how force- and power-velocity relationships highlight some aspect of human locomotion. Conference Paper. <https://www.researchgate.net/publication/304625813>.
- Spinks, C., Murphy, A., Spinks, W. & Lockie, R. 2007. The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(1), 77-85. DOI: 10.1519/00124278-200702000-00015.
- Sweeting, A., Cormack, S., Morgan, S. & Aughey, R. 2017. When Is a Sprint a Sprint? A Review of the Analysis of Team-Sport Athlete Activity Profile. *Frontiers in Physiology* 8, 432. DOI: 10.3389/fphys.2017.00432.
- Tierney, P., Young, A., Clarke, N. & Duncan, M. 2017. Match play demands of 11 versus 11 professional football using Global Positioning System tracking: Variations across common playing formations. *Human Movement Science* 49, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.05.007>.
- Van Den Tillaar, R., Teixeira, A. & Marinho, D. 2017. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis* 23(19). DOI: 10.12697/akut.2017.23.02.

- Varley, M. C. & Aughey, R. J. 2013. Acceleration Profiles in Elite Australian Soccer. *International Journal of Sports Medicine* 34, 34-39. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1316315>.
- Wallace, J.K. & Norton, K. 2014. Evolution of World Cup soccer final games 1966-2010: game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sports* 17(2), 223-228. DOI: 10.1016/j.jsams.2013.03.016.
- Weyand, P., Sternlight, D., Bellizzi, M. & Wright, S. 2000. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology* 89(5), 1991-1999. DOI: 10.1152/jappl.2000.89.5.1991.
- Wild, J., Bezodis, N., Blagrove, R. & Bezodis, I. 2011. A biomechanical comparison of accelerative and maximum velocity sprinting: specific strength training considerations. *Professional Strength and Conditioning*. <https://research.stmarys.ac.uk/id/eprint/336/>.
- Wonwoo, J. 2022. The Contextualisation of Match Running Performance in Elite Football. PhD Thesis. DOI: 10.24377/LJMU.t.00017379.
- Yu, J., Sun, Y., Yang, C., Wang, D., Yin, K., Herzog, W. & Liu, Y. 2016. Biomechanical Insights Into Differences Between the Mid-Acceleration and Maximum Velocity Phases of Sprinting. *Journal of Strength and Conditioning Research* 30(7), 1906-1916. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001278.
- Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Loakimidis, P., Dipla, K. & Kellis, S. 2005. The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 45(3), 284-290.
- Zisi, M., Stavridis, I., Agilara, G.O., Economou, T. & Paradisis, G. 2022. The Acute Effects of Heavy Sled Towing on Acceleration Performance and Sprint Mechanical and Kinematic Characteristics. *Sports* 10(5), 77. DOI: 10.3390/sports10050077.