

**ERILAISTEN HARJOITUSKUORMITUSTEN AKUUTIT VAIKUTUKSET
HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN NOPEUSVOIMAOMINAISUUKSIIN
JOUKKUEVOIMISTELIJOILLA**

Eeva Koskinen

Valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2021

Työnohjaaja: Keijo Häkkinen

TIIVISTELMÄ

Koskinen, E. 2021. Erilaisten harjoituskuormitusten akuutit vaikutukset hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin joukkuevoimistelijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin pro gradu -tutkielma, 78 s., 1 liite.

Johdanto. Harjoitusvasteet ovat urheilijoilla yksilöllisiä ja niihin vaikuttavat muun muassa urheilijan harjoitustausta sekä käytetty kuormitustapa. Murrosikä vaikuttaa tytöillä etenkin kehonkoostumukseen ja sitä kautta suorituskykyyn. Nopeusvoimalla tarkoitetaan mahdollisimman suuren lihasvoiman tuottamista mahdollisimman lyhyessä ajassa ja se on tärkeä ominaisuus joukkuevoimistelussa hypyissä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisten harjoituskuormitusten akuutteja vaikutuksia hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin joukkuevoimistelijoilla sekä palautumisen taso vuorokausi harjoituksen jälkeen.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui 27 naispuoleista joukkuevoimistelijaa, jotka jaettiin kuu-kautisten alkamisen perusteella puberteetti- (n=11) ja postpuberteettiryhmiin (n=16). Tutkimus koostui alkumittauksista ja kolmesta eri kuormituskerrasta sekä vuorokausi kuormituskertojen jälkeen olleista palautumismittauksista. Kuormituskerroilla suoritettiin alkuun joko plyometrinen, kestävyys- tai lajinomainen kuormitus ja tämän jälkeen jokaisella kuormituskerralla samanlainen lajiharjoitus. Voimistelijoilta mitattiin suoritusten jälkeen kevennyshyppy, isometrinen jalkojen ojentajalihasten maksimivoima sekä 100 ms aikana tuotettu voima, laktaattipitoisuudet 2 ja 4 minuuttia suorituksen jälkeen sekä harppahypyn korkeus, lentoaika ja ponnistuksen kesto.

Tulokset. Plyometrinen kuormitus heikensi tilastollisesti merkitsevästi enemmän isometristä maksimivoimaa postpuberteettiryhmällä ja koko ryhmällä verrattuna kestävyys- (postpuberteetti $p=0,008$, kaikki $p=0,043$) tai lajinomaiseen kuormitukseen (postpuberteetti $p=0,015$, kaikki $p=0,023$). Lajiharjoituksessa tehdyt kilpailuohjelman suoritukset nostivat tilastollisesti merkitsevästi laktaattipitoisuuksia lähtötilanteeseen verrattuna kaikissa mittauspisteissä. Joukkuevoimistelun ohjelmasuorituksen vaikutus nopeusvoimaominaisuuksiin näkyi akuutisti etenkin 100 ms aikana tuotetussa voimassa jokaisella kuormituskerralla. Palautumismittauksissa tilastollisesti merkitseviä eroja kuormitusta edeltäneeseen lähtötilanteeseen verrattuna oli vain harppahypyn ponnistuksen kestossa plyometrisen (postpuberteetti $p=0,003$, kaikki $p=0,001$) ja lajinomaisen kuormituskerran jälkeen (postpuberteetti $p=0,011$, kaikki $p=0,041$). Ryhmien välillä ei havaittu suuria tilastollisesti merkitseviä eroja muuten kuin plyometrisellä kuormituskerralla harpan ponnistuksen kestossa useassa eri mittauspisteessä.

Pohdinta ja johtopäätökset. Plyometrinen, kestävyys- tai lajinomainen kuormitus vaikuttivat vain muutamien muuttujien kohdalla tilastollisesti merkitsevästi nopeusvoimaominaisuuksiin ja joukkuevoimistelijat palautuivat vuorokauden aikana hyvin. Joukkuevoimistelun kilpailuohjelman suoritus nostaa erityisesti laktaattipitoisuuksia tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoa korkeammalle, jolloin harjoittelussa on huomioitava riittävät palautumisajat suoritusten välissä, jotta laktaattipitoisuudet laskisivat. Biologiselta iältään eri vaiheessa olevat voimistelijat eroavat toisistaan etenkin kehonkoostumuksessa, mutta suorituskyvyssä ei kahden ryhmän välillä havaittu suuria eroja.

Asiasanat: joukkuevoimistelu, nopeusvoima, puberteetti, plyometria, kestävyysharjoitus.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO	2
2.1 Hermolihasjärjestelmän rakenne ja toiminta	2
2.2 Voimantuotto	4
2.3 Nopeusvoima	5
2.4 Venymis-lyhenemissykli	6
3 PLYOMETRISEN HARJOITUKSEN VAIKUTUKSET	
HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN NOPEUSVOIMAOMINAISUUKSIIN	8
3.1 Plyometrisen harjoituksen akuutit vaikutukset nopeusvoimaominaisuuksiin	8
3.2 Nopeusvoimaominaisuuksien palautuminen plyometrisen nopeusvoimaharjoituksen jälkeen	12
4 KESTÄVYYSHARJOITUKSEN VAIKUTUKSET	
HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN NOPEUSVOIMAOMINAISUUKSIIN	15
4.1 Kestävyysharjoituksen akuutit vaikutukset	15
4.2 Hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksien palautuminen kestävyysharjoituksen jälkeen	18
5 MURROSIÄN VAIKUTUS SUORITUSKYKYYN	20
6 JOUKKUEVOIMISTELU LAJINA	24
7 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	29
8 MENETELMÄT	32
8.1 Tutkittavat	32
8.2 Tutkimusastelema	33

8.2.1 Alkumittaukset	34
8.2.2 Kuormitukset	34
8.2.3 Palautumismittaus.....	37
8.3 Mittaukset ja mittaustulosten analysointi	38
8.4 Tilastollinen analyysi.....	44
9 TULOKSET	46
9.1 Plyometrinen kuormituskerta	46
9.2 KestävyySKUORMITUSKERTA	50
9.3 Lajinomainen kuormituskerta.....	52
9.4 Kuormituskertojen väliset erot	55
10 POHDINTA	62
LÄHTEET	72
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Urheilijoiden vasteet harjoitteluun ovat yksilöllisiä (Watkins ym. 2017) ja ne riippuvat hermoston toimintaan ja valmiuteen vaikuttavasta harjoitustaustasta, fysiologisesta ja psykologisesta stressistä (Watkins ym. 2017) sekä yksilön kuntotasosta (McArdle ym. 2015, 464). Ihmiskehon motorinen järjestelmä pystyy adaptoitumaan sekä akuuttiin että krooniseen kuormitukseen (Enoka 2015, 319). Harjoittelu aiheuttaa väsymystä, mikä tilapäisesti johtaa suorituskyvyn heikkenemiseen (Jemni & Sands 2011, 28–29). Väsymys johtuu usein muutoksista lihassolun supistus- ja aineenvaihduntaprosesseissa. Myös hermosignaalin heikentynyt kulkeutuminen hermolihasliitoksen läpi saattaa heikentää lihassupistuksen tuottamaa voimaa. (Guyton & Hall 2006, 82.) Harjoittelu on spesifiä, mikä tarkoittaa, että aineenvaihdunnalliset ja fysiologiset harjoitusadaptaatiot riippuvat kuormituksen intensiteetistä, kestosta, säännöllisyydestä sekä käytetystä harjoitustavasta. Esimerkiksi voimaharjoittelulla ja kestävyysharjoittelulla on erilaiset vasteet. (McArdle ym. 2015, 462.) Nuoruudessa ja murrosiässä tapahtuvat fyysiset muutokset saattavat vaikuttaa suorituskykyyn erityisesti tytöillä. Kuukautisten alkaessa kehon rasvan määrä lisääntyy tytöillä, mikä vaikuttaa negatiivisesti suorituskykyyn etenkin lajeissa, joissa kehon painoa tulee kannatella. (Malina ym. 2004, 226, 332, 350.)

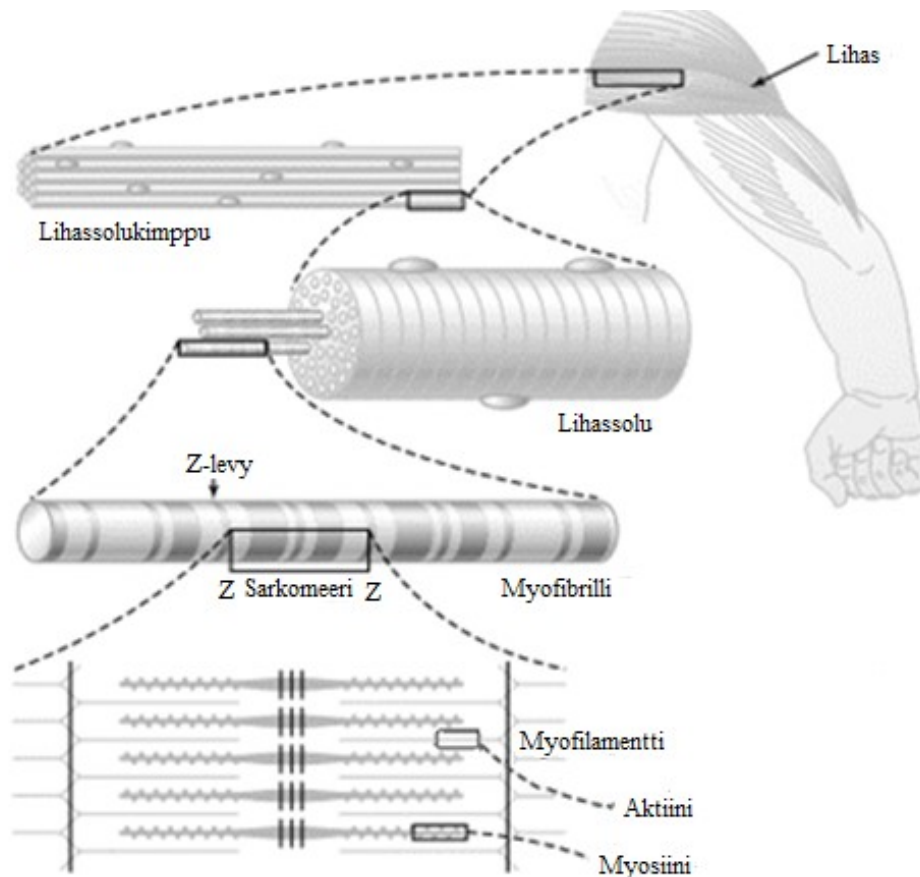
Nopeusvoima, eli mahdollisimman suuren lihasvoiman tuottaminen mahdollisimman lyhyessä ajassa, on tärkeä ominaisuus monissa urheilulajeissa. Esimerkiksi erilaisissa hyppysuorituksissa tarvitaan nopeaa voimantuottoa. (Kraemer & Newton 1994.) Voimistelijalta vaaditaan hyvää liikkuvuutta, koordinaatiokykyä, tasapainotaitoa, voimaa sekä tehontuottoa (Gateva 2011, 45). Joukkuevoimistelussa nopeusvoimaa tarvitaan erityisesti lajihyppyihin, joissa räjähtävä voimantuotto on liikkuvuuden ohella tärkein ominaisuus (Mkaouer ym. 2012; Rodriguez Galán & Gómez-Landero Rodriguez 2018). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisten harjoituskuormitusten akuutteja vaikutuksia hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin joukkuevoimistelijoilla sekä selvittää palautumisen taso vuorokausi harjoituksen jälkeen.

2 HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VOIMANTUOTTO

2.1 Hermolihasjärjestelmän rakenne ja toiminta

Ihmisen hermosto koostuu keskushermostosta, johon kuuluvat aivot ja selkäydin sekä perifeerisestä hermostosta, johon kuuluvat hermot. Perifeerinen hermosto jakautuu afferenttiin (sensorinen) ja efferenttiin (motorinen) osioon. Afferentit neuronit välittävät sensorista informaatiota perifeerisiltä reseptoreilta keskushermostoon ja efferentit neuronit välittävät informaatiota aivoista kohti perifeerisiä kudoksia. Efferenttejä neuroneita on kahta tyyppiä: somaattisia ja autonomisia. Somaattiset hermosolut (motoneuronit) hermottavat lihassoluja. Autonomiset hermosolut aktivoivat mm. sydänlihasta, rauhasia sekä ei-tahdonalaisia lihaksia. (McArdle ym. 2015, 384–389.)

Lihakset (kuva 1) ovat molekyyli-rakenteita, jotka muuttavat kemiallista energiaa voimaksi (Enoka 2015, 205). Luurankolihakset koostuvat lukuisista lihassoluista, jotka useimmissa lihaksissa ulottuvat lihaksen päästä päähän. Jokainen lihassolu koostuu sadoista tai jopa tuhansista myofibrilleistä. Sarkomeeri on myofibrillin osa, joka koostuu aktiini- ja myosiinifilamenteista. (Guyton & Hall 2006, 72–73.) Sarkomeeri on lihaksen supistuva yksikkö, joka ylittää yhden Z-levyltä toiselle Z-levylle. Lihassolua ympäröi solukalvo eli sarkolemma. (Enoka 2015, 206.)



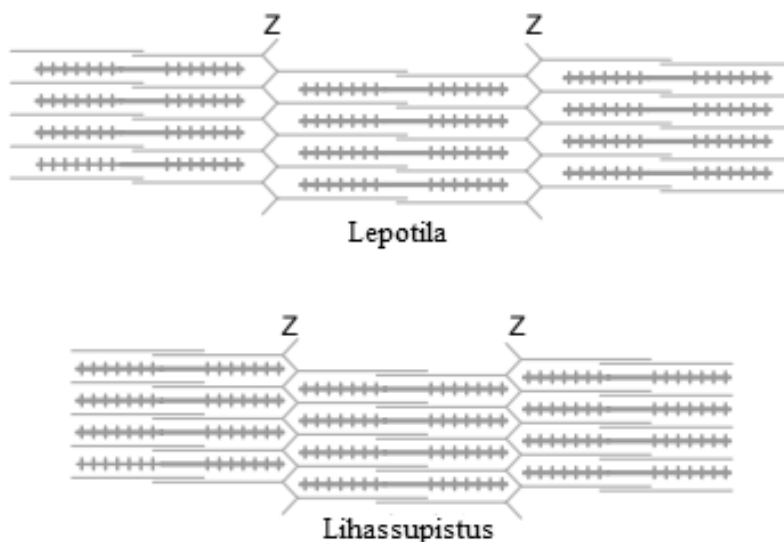
KUVA 1. Lihaksen rakenne (mukailtu Guyton & Hall 2006, 73).

Lihassoluja voidaan luokitella supistumis- ja voimantuotto-ominaisuuksien sekä väsymyksen sietokyvyn perusteella. Tyypin I lihassolut ovat hitaita, matalaa voimaa tuottavia ja väsymystä hyvin sietäviä. Tyypin IIa lihassolut ovat nopeita, ne tuottavat keskinäisesti voimaa ja sietävät väsymystä, kun taas tyypin IIb nopeat lihassolut tuottavat paljon voimaa mutta väsyvät nopeasti. Nopeita lihassoluja hermottavat suuret motoneuronit, joiden johtumisnopeudet ovat suuria, ja ne tuottavat enemmän voimaa ja nopeammin kuin hitaat lihassolut. Hitaammin supistuvat yksiköt sietävät taas paremmin väsymystä. (McArdle ym. 2015, 396–399.) Hitaat lihassolut ovat pienempiä ja sisältävät enemmän kapillaareja, mitokondrioita sekä verisuonistoa, mikä tukee hapen avulla tuotettua aineenvaihduntaa. Kehon jokaisessa lihaksessa on sekä hitaita että nopeita lihassoluja. Jokainen selkäytimestä lähtevä motoneuroni hermottaa useampaa

lihassolua ja tämä määrä on riippuvainen lihastyypistä. Kaikkia yhden motoneuronin hermotamia lihassoluja kutsutaan motoriseksi yksiköksi. (Guyton & Hall 2006, 80–81.) Yksi motorinen yksikkö sisältää vain joko tyypin I tai tyypin II lihassoluja (McArdle ym. 2015, 396).

2.2 Voimantuotto

Hermoimpulssin saapuessa motoneuronin ja lihassolun väliseen rajapintaan eli hermolihasliitokseen vapautuu asetyylkoliini-nimistä välittäjäainetta, mikä johtaa aktiopotentiaalin sarkolemmalla (McArdle ym. 2015, 395). Sarkoplasmisesta retikulumista vapautuu aktiopotentiaalin seurauksena kalsiumia, joka sitoutuu aktiinifilamentin troponiiniin. Tämän seurauksena myosiinin on mahdollista kiinnittyä aktiiniin, jolloin niiden välille muodostuu poikittaissiltoja. Kiinnittymisen jälkeen myosiinin pää vetää aktiinifilamenttia niin, että ne liukuvat lomittain (kuva 2), mikä aiheuttaa lihaksen supistumisen. Lihassupistus päättyy, kun kalsiumionit pumpataan takaisin sarkoplasmiseen retikulumiin. Lihassupistus saa energiaa adenosiinitrifosfaatista (ATP). Lihassolun ATP-varastot riittävät enimmillään ylläpitämään lihassupistusta vain 1–2 sekuntia. Fosfokreatiini (phosphocreatine, PCr) on ensisijainen energianlähde, jota käytetään ATP:n uudelleenmuodostukseen. (Guyton & Hall 2006, 74–89.)



KUVA 2. Aktiini- ja myosiinifilamenttien liukuminen toistensa ohi lihaksen supistuessa (muokailtu Guyton & Hall 2006, 75).

Lihassupistuksen voimakkuutta on mahdollista kasvattaa joko lisäämällä samanaikaisesti supistuvien motoristen yksiköiden määrää tai lisäämällä jo rekrytoitujen motoristen yksiköiden supistumisfrekvenssiä. Pienempiä motorisia yksiköitä hermottavat pienemmät motoriset hermot, jotka ovat herkempiä syttymään kuin suuremmat, jolloin ne rekrytoidaan käyttöön ensimmäisenä. Keskushermoston signaalien voimakkuuden kasvaessa myös suurempia motorisia yksiköitä saadaan rekrytoitua. (Guyton & Hall 2006, 81.) Motorinen yksikkö toimii kaikki tai ei mitään -periaatteella, eli joko kaikki motorisen yksikön lihassolut syttyvät tai yksikään ei syty. Pientä lihasvoimaa vaativat toiminnot aktivoivat vain muutamia motorisia yksiköitä, kun taas suurta lihasvoimaa vaativat toiminnot progressiivisesti enemmän. Kaikki lihaksen motoriset yksiköt eivät siis syty samanaikaisesti. Motoristen yksiköiden syttymisen erilaista kontrollia on havaittavissa eri urheilusuorituksissa. Esimerkiksi painonnostajilla monet motoriset yksiköt syttyvät samanaikaisesti, kun taas kestävyysurheilijoilla toisten motoristen yksiköiden syttyessä toiset lepäävät ja palautuvat. Painonnostajilla synkronoitu syttyminen mahdollistaa suuren kuorman liikuttamisen nopeasti. Kestävyysjuoksijoilla taas epäsynkronoitu, pääasiassa hitaiden motoristen yksiköiden syttyminen mahdollistaa sen, että suoritusta on mahdollista jatkaa pitkään. (McArdle ym. 2015, 399–400.)

2.3 Nopeusvoima

Nopeusvoima tarkoittaa mahdollisimman suuren lihasvoiman tuottamista mahdollisimman lyhyessä ajassa. Esimerkiksi vertikaalisuuntaiset hyppyt vaativat räjähtävää voimaa ja suurta tehontuottoa, eli kykyä tuottaa voimaa nopeasti. (Kraemer & Newton 1994.) Teholla tarkoitetaan energian muuttumista työksi tai lämmöksi, ja se voidaan laskea kaavalla $teho = (voima \times matka) \div aika$ tai $teho = voima \times nopeus$ (Knuttgen & Kraemer 1987). Maksimaaliseen lihaksen tuottamaan tehoon vaikuttavat useat toisiinsa yhteydessä olevat tekijät kuten lihasfiiberien rakenne ja poikkipinta-ala, lihassolukimpun pituus, pennaatiokulma ja jänteen joustavuus. Myös motoristen yksiköiden rekrytointi, syttymistäajuus, synkronisaatio, lihasten välinen koordinaatio, lihasten aktivaatio, voimantuottoon käytettävissä oleva aika, elastisen energian varastointi ja sen hyödyntäminen sekä venytysrefleksit vaikuttavat tuotetun tehon määrään. (Cormie ym. 2011a.) Kyky tuottaa maksimaalista tehoa monimutkaisissa motorisissa taidoissa on tärkeää monissa urheilulajeissa. Voimataso vaikuttaa suuresti kykyyn tuottaa maksimaalista tehoa, joten maksimivoiman ylläpitäminen sekä lisääminen on tärkeää tehontuoton

kehittämiseksi. (Cormie ym. 2011b.) Suuren voiman tuottaminen vaatii hitaan supistumisnopeuden, kun taas suuren tehon tuotossa supistumisnopeuden on oltava vähintään kohtalainen, minkä seurauksena tällöin tuotettu voima ei ole suurin mahdollinen (Knuttgen & Kraemer 1987).

Erilaisia hyppytestejä käytetään paljon urheilussa mittaamaan tehoa sekä räjähtävää voimantuottoa (Viitasalo 1988). Hyppytestit ovat hyödyllisiä testejä, sillä monet urheilulajit sisältävät hyppäämistä. Hyppysuorituksissa käytetään lähinnä pakarana ja etureiden lihaksia, mitkä ovat tärkeitä lihaksia monissa urheilulajeissa. (Harman ym. 1991.) Kevennyshyppy ja staattinen hyppy on todettu hyväksi ja luotettaviksi testeiksi mittaamaan alaraajojen nopeusvoimaominaisuuksia (Markovic ym. 2004). Hyppääminen ylöspäin vertikaalisuuntaan on monissa urheilulajeissa tärkeä kyky suorituksen kannalta (Harman ym. 1990). Vertikaalihyppytestejä voidaan käyttää myös väsymyksen ja harjoitusvalmiuden mittarina. Watkins ym. (2017) totesivat tutkimuksessaan vertikaalihyppyjen heikkenemisen voimaharjoituksen jälkeen korreloivan takakykyyn volyymin (toistomäärät ja kuorma) heikkenemisen kanssa.

2.4 Venymis-lyhenemissykli

Lähes kaikessa liikkumisessa ihmisen jalkojen lihakset toimivat venymis-lyhenemissyklissä (stretch-shortening cycle, SSC), jossa lihakset venyvät ensin eksentrisesti ja supistuvat sitten konsentrisesti. Eksentrisen venytysvaiheen aikana lihaksiin pystytään varastoimaan elastista energiaa, jota voidaan hyödyntää liikkeen konsentrisessä vaiheessa. Alustaan tuotettua suurta eksentristä voimaa seuraa suuri konsentrisen vaiheen voimantuotto. Lyhytkestoista eksentristä maakontaktia seuraa lyhyt konsentrisen vaiheen kontaktiaika sekä suuri konsentrisen voima. (Aura & Viitasalo 1989.) Lihakset pystyvät venymis-lyhenemissyklin myötä tuottamaan enemmän voimaa ja sitä kautta tekemään myös enemmän työtä liikkeen konsentrisessä vaiheessa (Bobbert ym. 1996). Liikkeen eksentrisessä vaiheessa lihaksiin varastoitunut elastinen energia lisää tehdyn työn määrää (Asmussen & Bonde-Petersen 1974).

Monet hyppysuoritukset sisältävät kevennyслиikkeen, jolloin työtä tekevät lihakset venyvät ensin nopeasti ja sitten lyhenevät kiihdyttääkseen kehoa ylöspäin. Tämän tyyppistä lihassupistusta

kutsutaan plyometriseksi supistukseksi. (Kraemer & Newton 1994.) Tällöin hyppyissä kevennyksen aikana aktiiviset lihakset ovat valmiiksi venyneitä ja varastoivat energiaa väliaikaisesti lihaksen elastisiin komponentteihin, jota pystytään sitten hyödyntämään eksentristä vaihetta seuraavassa konsentrisessä vaiheessa (Asmussen & Bonde-Petersen 1974).

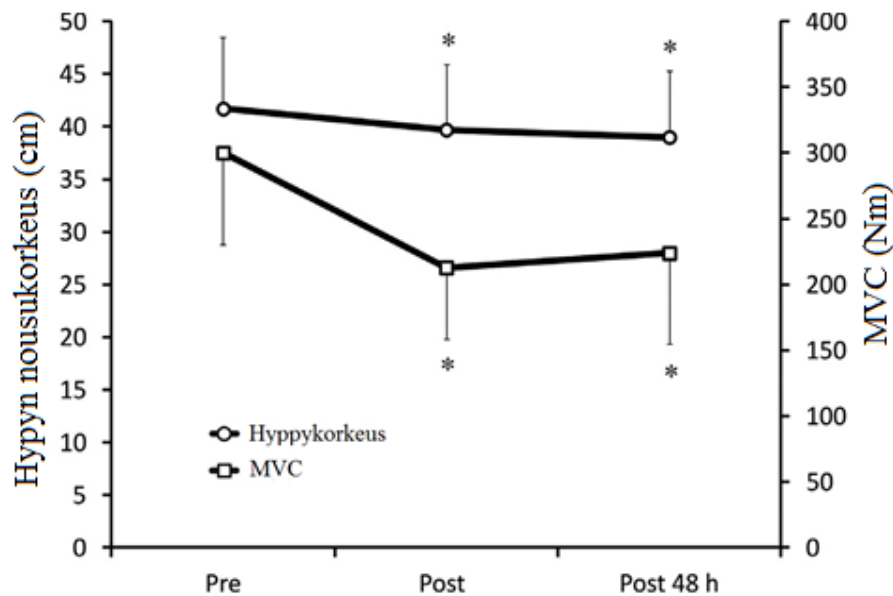
3 PLYOMETRISEN HARJOITUKSEN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN NOPEUSVOIMAOMINAISUUKSIIN

Plyometrisellä harjoittelulla tarkoitetaan erilaisia variaatioita loikkimisesta, hyppäämisestä ja hyppelyistä. Plyometrinen harjoittelu on venymis-lyhenemistyyppistä liikettä ja se vaatii lihaksen nopeaa esivenytystä (eksenttrinen liike) ja urheilijan maksimaalista yritystä konsentrisen lihastyön vaiheessa. Tällaista plyometristä harjoittelua on esimerkiksi erilaiset pudotushyppyt sekä hyppyt korokkeen päälle. (Lachance 1995.) Plyometristä harjoittelua on käytetty useita vuosia kehittämään suorituskykyä lajeissa, joissa alavartalon tuottamalla teholla on suuri merkitys (Fatouros ym. 2000). Plyometrisiä harjoitteita käytetään paljon ja niillä voidaan kehittää muun muassa vertikaalisuuntaisten hyppyjen suoritusta sekä anaerobista tehoa (Fatouros ym. 2000; Luebbers ym. 2003).

3.1 Plyometrisen harjoituksen akuutit vaikutukset nopeusvoimaominaisuuksiin

Vertikaalihyppyjen nousukorkeuksien on miehille tehdyissä tutkimuksissa todettu heikkenevän akuutisti plyometrisen, venymis-lyhenemissyklityyppistä lihastyötä sisältävän harjoituksen seurauksena (Nicol ym. 1996; Skurvydas ym. 2002). Määrällisesti suuri plyometrinen harjoitus aiheuttaa akuutisti lihasten supistumisnopeuden hidastumista, perifeeristä väsymystä ja se vähentää lihaksen kykyä tuottaa vääntömomenttia, vaikka harjoitus ei olisi uuvuttava. Akuutti väsymys saattaa liittyä kuormituksessa muodostuneisiin kuona-aineisiin ennemmin kuin lihaskivertävyyden vaurioihin. (Drinkwater ym. 2009.) Välittömästi harjoituksen jälkeen ionitasoissa sekä metaboliassa on useita lyhytkestoisia muutoksia ja SSC-tyyppisen harjoituksen jälkeen onkin mitattu jopa yli 14 mmol/l laktaattipitoisuuksia. (Nicol ym. 1996.) Suurin laktaattitaso (keskimäärin 12,5 mmol/l) Horitan ym. (1996) miehille tehdyssä tutkimuksessa toistettujen kelkkahyppyjen jälkeen mitattiin 3 minuuttia harjoituksen päätyttyä. Laktaatin kerääntyminen, pudotushyppysuorituksen heikkeneminen ja polven ojentajalihasten huipputehon väheneminen osoittavat harjoituksen tuottaneen akuutin lihasväsymyksen etenkin polven ojentajalihaksille. (Horita ym. 1996.) Myös ponnistusnopeuden on todettu heikkenevän kuormittavan, useita toistoja sisältävän SSC harjoituksen jälkeen (Nicol ym. 1996).

70 pudotushypyn on todettu aiheuttavan lihasvauriota jalan ojentajalihaksille, mikä näkyi Kamandulisin ym. (2016) tutkimuksessa koripalloilevilla miehillä maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen (maximal voluntary contraction, MVC) heikkenemisenä välittömästi harjoituksen jälkeen (kuva 3). Kevennyshypyn nousukorkeus heti harjoituksen jälkeen laski noin 5 % lähtötasoon verrattuna. (Kamandulis ym. 2016.) Kuormittava, venymis-lyhenemissykliä käyttävä harjoitus, kuten esimerkiksi plyometrinen harjoitus, aiheuttaa paikallista lihasheikoutta, mikä johtaa refleksien ja lihasjäykkyyden välisen vuorovaikutuksen muokkautumiseen pudotushypyssä (Horita ym. 1996). Kuormituksen aiheuttamat metaboliset häiriöt vaikuttavat lihasten, tässä tapauksessa lateral gastrocnemius lihaksen venytysrefleksivasteen ja esiaktiivisuuden heikkenemiseen. Mahdolliset lihasvauriot saattavat lisätä metabolisten häiriöiden määrää. (Nicol ym. 1996.) Kelkalla tehdyn hyppykuormituksen jälkeen miehillä myös polvinivelen positiivinen huipputeho, polvinivelen konsentrisen jäykkyyden ja polvinivelen vääntömomentti venytysvaiheen lopussa vähenivät välittömästi. Vastus lateralis lihaksen esiaktiivisuus puolestaan lisääntyi kuormituksen jälkeen, millä mahdollisesti pyritään kompensoimaan harjoituksen aiheuttamaa väsymystä. (Horita ym. 1996; Horita ym. 1999.)



KUVA 3. Kevennyshypyn nousukorkeuden ja maksimaalisen tahdonalaisen lihassupistuksen (MVC) muutokset ennen (pre) plyometristä harjoitusta ja välittömästi (post) ja 48 tuntia (post 48 h) sen jälkeen. * = $p < 0,05$ verrattuna ennen kuormitusta (pre) mitattuihin arvoihin. (Mukailtu Kamandulis ym. 2016.)

100 maksimaalista pudotushyppyä sisältäneen harjoituksen jälkeen sekä harjoittelemattomilla miehillä, kestävyysjuoksijoilla että pikajuoksijoilla oli havaittavissa akuutti lasku lihaksen supistumisvoimassa. Harjoittelemattomilla lasku sähköstimulaatiolla tuotetussa voimassa oli suurempaa kuin kestävyysjuoksijoilla tai pikajuoksijoilla. Myös kevennyshypyn, staattisen hypyn sekä pudotushypyn nousukorkeudet heikkenivät kaikilla ryhmillä, eivätkä tulokset palautuneet lähtötasolle vielä 20 minuuttia harjoituksen jälkeen. Hyppyjen nousukorkeudet heikkenivät vähemmän pikajuoksijoilla verrattuna kestävyysjuoksijoihin tai harjoittelemattomiin. Harjoittelemattomilla ja kestävyysjuoksijoilla kevennyshyppy, staattinen hyppy sekä pudotushyppy heikkenivät kaikki saman verran, kun taas pikajuoksijoilla kevennyshyppy ja 90 cm korkeudelta suoritettu pudotushyppy heikkenivät staattista hyppeä vähemmän. Kuormituksen suoritetut pudotushypyt aiheuttivat mahdollisesti venytysrefleksien inhibitiota, jolloin hyppekorkeuden voisi olettaa heikkenevän enemmän kevennyshypyssä ja pudotushypyssä kuin staattisessa hypyissä. (Skurvydas ym. 2002.)

Erot väsymyksessä erilaisten harjoitustaustojen omaavien välillä eivät luultavasti johdu lihaksen rakenteesta, sillä lihasvaurioita on havaittu pääasiassa vain nopeissa lihassoluissa (Fridén ym. 1988), joita pääasiassa rekrytoidaan eksentrisessä lihastyössä helpottamaan kuorman laskua (Nardone ym. 1989). Nopeiden, tyypin IIB lihassolujen Z-levyissä saattaa näkyä epäsäännöllisyyttä kuormittavan eksentrisen harjoituksen jälkeen, sillä ne ovat mahdollisesti muita lihassolutyyppejä heikompia, mistä saattaa johtua niiden mahdollinen repeäminen toistuvia suuria venytyksiä sisältävän harjoituksen seurauksena (Fridén ym. 1988). Kestävyysharjoittelulla on todettu olevan suojaava vaikutus eksentriseen lihastyöhön liittyviä lihasvaurioita vastaan (Evans ym. 1986). Pikajuoksijoilla pitäisi siis olla suurempi lasku sekä lihaksen supistumisvoimassa että suoritettujen hyppejen korkeudessa verrattuna kestävyysurheilijoihin (Skurvydas ym. 2002). Eksentriseen lihastyöhön liittyvää lihasvauriota on kuitenkin mahdollista vähentää harjoittelulla (Newham ym. 1987). Pikajuoksijat tekevät harjoittelussaan enemmän suorituksia maksimaalisella intensiteetillä kuin kestävyysjuoksijat, jolloin pikajuoksijat rekrytoivat ja harjoittavat useampia nopeita lihassoluja. Pikajuoksijoiden nopeat lihassolut saattavat olla vastustuskykyisempiä venymis-lyhenemissyklin aiheuttamalle lihasvauriolle kuin kestävyysjuoksijan tai harjoittelemattoman nopeat lihassolut. Tämä saattaa osin selittää sitä, miksi pikajuoksijoiden hyppekorkeus heikkenee vähemmän kuin kestävyysjuoksijoilla. (Skurvydas ym. 2002.)

Kun plyometrinen harjoitus on määrällisesti kevyempi, saattaa harjoituksella olla myös akuutti positiivinen vaikutus nopeusvoimaominaisuuksiin (De Villarreal ym. 2007; Tobin & Delahunt 2014). Kun miespuoliset rugby pelaajat suorittivat 40 ponnistusta sisältävän plyometrisen harjoituksen, kevennyshypyn nousukorkeus sekä tuotettu huippuvoima kasvoivat akuutisti 1–5 minuuttia harjoituksen jälkeen (taulukko 1) (Tobin & Delahunt 2014). Myös De Villarreal ym. (2007) totesivat tutkimuksessaan, että 25 plyometristä ponnistusta sekä korkeaintensiteettisiä dynaamisia voimaliikkeitä sisältävä lämmittely paransi suorituskykyä akuutisti sekä kevennyshypyssä että pudotushypyssä miespuolisilla lentopalloilijoilla. Intensiteetiltään korkein lämmittelykuormitus tuotti tutkimuksessa suurimman positiivisen vaikutuksen suorituskykyyn. Lämmittelyllä ei todettu olevan vaikutusta suorituskykyyn, kun se tehtiin matalalla intensiteetillä (30 % yhden toiston maksimista, 1 RM) tai kun ei suoritettu ollenkaan aktiivista lämmittelyä. Myöskään optimaaliselta pudotuskorkeudelta suoritettavat pudotushypyt eivät parantaneet hyppejen suoritusta, mikä saattaa johtua hermolihäsjärjestelmän väsymisestä pudotushypyissä yhdistettynä lyhyeen palautusaikaan (5 min) ennen hyppeysuoritusta. Korkeaintensiteettisellä hyppeylämmittelyllä voi siis olla merkittävä positiivinen vaikutus hermolihäsjärjestelmän hyppeysuorituksiin. Hyppeysuoritusten optimoimiseksi korkeat kuormat (>80 % 1 RM) tai spesifit hyppeharjoitteet vaikuttaisivat olevan parhaita. (De Villarreal ym. 2007.)

TAULUKKO 1. Kevennyshyppeysuorituksen muuttujat ennen ja jälkeen plyometrisen harjoituksen miespuolisilla rugby pelaajilla. Arvot on ilmoitettuna keskiarvoina ja keskihajontana (\pm). * = $p < 0,01$, tilastollisesti merkitsevä ero verrattuna ennen plyometristä harjoitusta mitattuihin arvoihin. (Mukailtu Tobin & Delahunt 2014.)

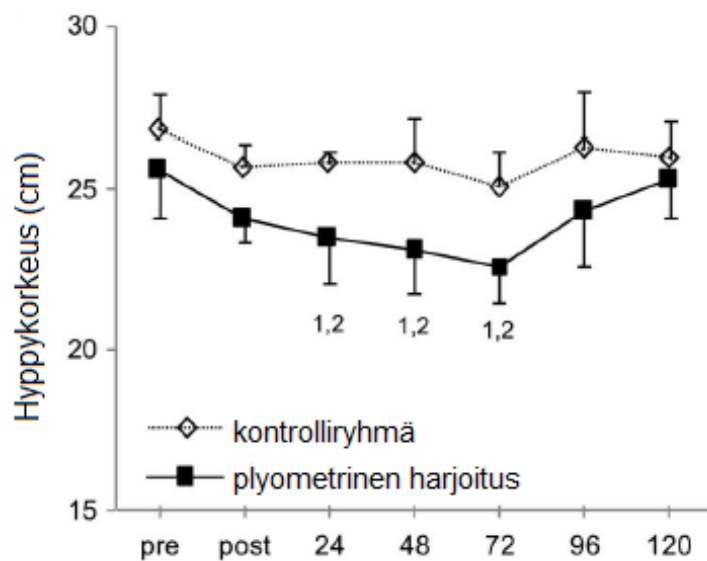
	Ennen plyometristä harjoitusta	1 min plyometrisen harjoituksen jäl- keen	3 min plyometrisen harjoituksen jäl- keen	5 min plyometrisen harjoituksen jäl- keen
Hyppeyskor- keus (cm)	43,95 \pm 5,43	46,04 \pm 5,35*	45,68 \pm 5,62*	45,48 \pm 5,95*
Huippuvoima (N/kg)	24,27 \pm 1,73	26,21 \pm 2,63*	26,35 \pm 2,88*	26,42 \pm 2,84*

3.2 Nopeusvoimaominaisuuksien palautuminen plyometrisen nopeusvoimaharjoituksen jälkeen

Plyometrisen, venymis-lyhenemissykliä sisältävän harjoituksen on todettu monissa miehille tehdyissä tutkimuksissa heikentävän vertikaalihyppysuorituksia vielä 24–72 tuntia kuormituksen jälkeen (kuva 4) (Horita ym. 1996; Horita ym. 1999; Highton ym. 2009; Chatzinikolaou ym. 2010; Beneka ym. 2013; Kamandulis ym. 2016). Myös hyppyjen ponnistusten kontaktiajan on havaittu olevan miehillä tilastollisesti merkitsevästi pidempi vielä 2 tuntia ja 4 päivää harjoituksen jälkeen verrattuna tilanteeseen ennen harjoitusta (Horita ym. 1996). MVC pysyi Kamandulisin ym. (2016) tutkimuksessa koripalloa pelaavilla miehillä heikentyneenä vielä 48 tuntia 70 pudotushyppyä sisältävän plyometrisen harjoituksen jälkeen (kuva 3). MVC:n lisäksi myös jalkojen ojentajalihasten vääntömomentin on todettu pysyneen lähtötasoon verrattuna heikentyneenä 24 ja 48 tuntia kevennyshyppyjä sisältäneen plyometrisen harjoituksen jälkeen (Highton ym. 2009). Aikaikkuna, jolloin suorituskyky on heikentynyt, on oleellista tietoa valmentajalle siinä suhteessa, että pystyy järkevästi suunnittelemaan seuraavan harjoituksen ajankohdan. Plyometrisestä harjoituksesta tarvitaan riittävä palautumisaika (72 tuntia), jotta suorituskyky palautuu ja kuormituksen aiheuttama tulehdus poistuu. (Beneka ym. 2013.)

Eksentristä lihastyötä sisältävä plyometrinen harjoitus johtaa sekä välittömään että pidempiaikaiseen voima- ja nopeusominaisuuksien heikkenemiseen. Syitä tälle ovat esimerkiksi vasteena lihasarkuudelle tuotettu hermostollinen inhibitio, venymis-lyhenemissyklin vähentynyt refleksiherkkyys sekä proprioseptoreiden heikentynyt toimintakyky. Vähentynyt refleksien herkkyys saattaa vaikuttaa koehenkilön vaurioituneen lihaksen kykyyn hyödyntää törmäysvoimia venymis-lyhenemissyklissä. (Highton ym. 2009.) Tämä selittää osin myös samankaltaisten venymis-lyhenemissykliä käyttävien suoritusten heikkenemisen. Viivästynyt palautuminen saattaa osin johtua myös siitä, että lihasvauriot vaikuttavat epäsuorasti tulehdusten ja lihassäryn muodostumiseen, mikä johtaa pienten lihasafferenttien herkistymiseen. Palautumisen myöhäisemmässä vaiheessa venymis-lyhenemissyklin aiheuttamat lihasvauriot sekä tulehdustila ovat vallitsevia. (Nicol ym. 1996.) Plyometrisen harjoituksen on todettu miehille tehdyissä tutkimuksissa aiheuttavan useita vuorokausia kestävästä merkittävästä lihaskipua (Nicol ym. 1996; Highton ym. 2009; Kamandulis ym. 2016), joka saavuttaa huippunsa noin 24–48 tuntia harjoituksen jälkeen (Schwane ym. 1983). Huomattava lihasarkuus on heikentyneen MVC:n ohella tyypillinen oire

lihasvauriolla. Myös hyppykorkeuden muutokset kuvastavat hyvin lihasvaurioita. (Kamandulis ym. 2016.) Laktaatin kerääntyminen, pudotushyppysuorituksen heikkeneminen ja polven ojentajalihasten huipputehon väheneminen osoittavat pitkäkestoisen lihasväsymyksen etenkin polven ojentajalihaksille plyometrisen kuormituksen seurauksena (Horita ym. 1996). Lihaksen rakenteelliset vahingot saattavat vaikuttaa merkittävästi SSC suoritukseen jopa useita päiviä harjoituksen jälkeen. Mahdollisesti vähentynyt aktiivisten poikittaissiltojen määrä pudotushyppyn venytyksen aikana saattaa liittyä lihaksen rakenteellisiin vaurioihin SSC harjoituksen jälkeen. (Horita ym. 1996.)

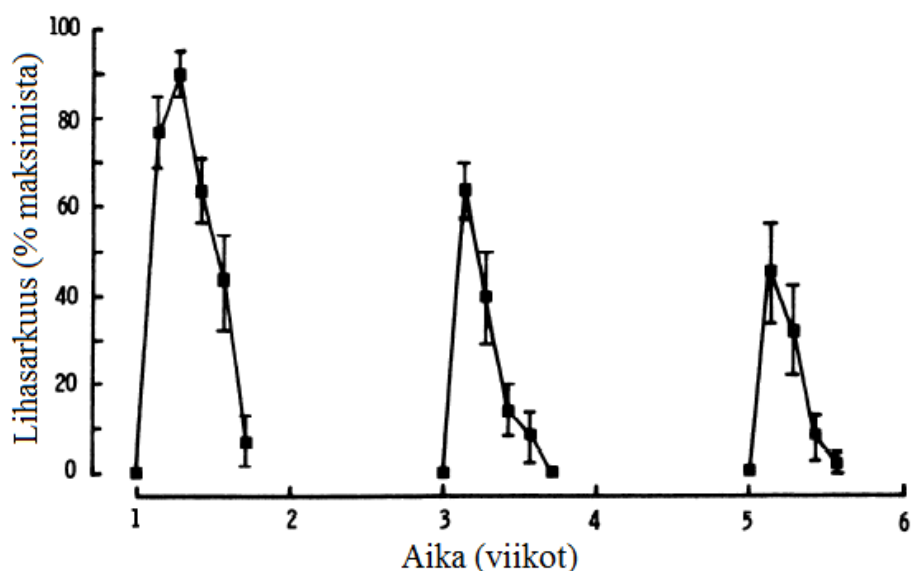


KUVA 4. Kevennyshyppyn nousukorkeus harjoitelleilla miehillä ennen (pre) plyometristä harjoitusta ja välittömästi (post) sekä 24, 48, 72, 96 ja 120 tuntia sen jälkeen. 1 = tilastollisesti merkitsevä ero lähtötasoon verrattuna, 2 = tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä. (Mukailtu Chatzinikolaou ym. 2010.)

Venymis-lyhenemissyklin aiheuttama väsymys saattaa myös vaikuttaa lihaksen jäykkyyteen ja sitä kautta koko suoritukseen (Horita ym. 1996). Lihaksen jäykkyydellä tarkoitetaan muutosta voimassa suhteessa muutokseen lihaksen pituudessa (N/mm), eli voima-pituus -käyrän jyrkkyyttä (Enoka 2015, 483). Pudotushyppystä SSC harjoituksen jälkeen vähentynyt motoristen yksiköiden syttymistiheys ja/tai vähentynyt aktiivisten motoristen yksiköiden määrä saattavat

olla vastuussa vähentyneestä jäykkyydestä. Myös myofibrillien häiriöt ja/tai sidekudosvauriot venymis-lyhenemissykliharjoituksen jälkeen vaikuttavat koko lihas-jännekompleksin jäykkyyden säätelyyn. (Horita ym. 1996.)

Harjoittelulla on mahdollista vaikuttaa eksentristä lihastyötä sisältävän harjoituksen jälkeiseen palautumiseen maksimivoiman sekä lihasarkuuden osalta. Lihaskipu vähenee jokaisen harjoituskerran jälkeen (kuva 5). Voimatasot eivät Newhamin ym. (1987) tutkimuksessa kasvaneet fyysisesti aktiivisilla miehillä tai naisilla harjoittelun myötä, mikä osoittaa, että adaptaatiot kuormituksen sietoon eivät vaadi muutoksia lihaksen voima- tai supistumisominaisuuksissa tai sen kyvyssä sietää väsymystä. MVC palautui hyvin hitaasti eksentrisen harjoituksen jälkeen, sillä sen taso oli vain noin 80 % alkuperäisestä 2 viikkoa harjoituksen jälkeen. (Newham ym. 1987.) Kestävyysjuoksuun sisältyvä eksentrisen komponentti saattaa johtaa siihen, että kestävyysharjoitelleet kokevat vähemmän lihasvaurioita. Erot lihasarkuudessa saattavat siis johtua koehenkilöiden kuntotasosta sekä aiemmasta harjoitustaustasta. Säännöllisesti suoritettu kestävyysjuoksuharjoittelu vaikuttaisi siis suojaavan eksentrisen lihastyön aiheuttamilta lihasvaurioilta. (Evans ym. 1986.)



KUVA 5. Lihaskipu harjoitusjakson aikana fyysisesti aktiivisilla miehillä ja naisilla. Harjoitukset suoritettiin viikoilla 1, 3 ja 5. (Mukailtu Newham ym. 1987.)

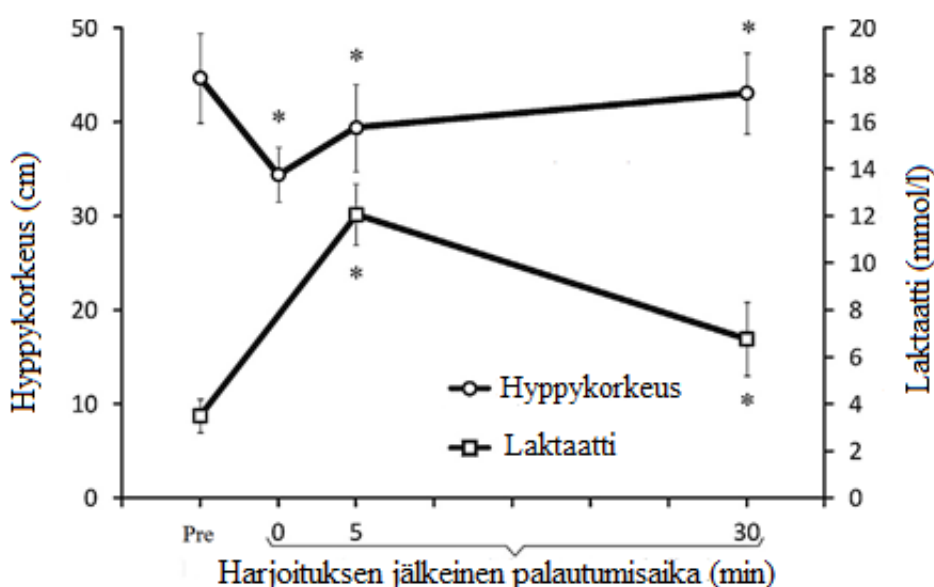
4 KESTÄVYYSHARJOITUKSEN VAIKUTUKSET HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN NOPEUSVOIMAOMINAISUUKSIIN

4.1 Kestävyysharjoituksen akuutit vaikutukset

Toistuvat venymis-lyhenemissyklit pitkäkestoisen juoksusuorituksen aikana vaikuttavat voimantuottoon vähentämällä neuraalista syöttöä lihaksille ja heikentämällä supistuskoneistojen tehokkuutta (Nicol ym. 1991b; Lepers ym. 2000a). Kahden tunnin juoksusuorituksen (75 % HR_{max}) on todettu heikentävän kevennyshypyn nousukorkeutta harjoitelleilla miesurheilijoilla (Lepers ym. 2000b). Toistuvat venytyskuormitukset pidentävät lihaksen venytyksestä sen lyhenemiseen kuluva aikaa, mikä johtaa elastisen energian varastojen vähenemiseen. Nämä muutokset sekä muuttunut lihaksen jäykkyyden säätely johtavat vähentyneeseen suorituskykyyn venymis-lyhenemissyklissä. Maratonin jälkeen pudotushypyn suurin törmäysvoima oli mies- ja naisurheilijoilla suurempi kuin ennen maratonia, mikä saattaa johtua lisääntyneestä lihaksen jäykkyydestä ennen kontaktia, millä pyritään kompensoimaan heikentynyttä supistuskoneistoa venytyksessä. Mekanismit ovat mahdolliset, jos useita motorisia yksiköitä on aktivoitu valmiiksi. Esiaktiivisuus siis mahdollisesti suojaa suurilta törmäysvoimilta mukauttamalla lihaksen jäykkyyttä. Tätä säätelyä voidaan käyttää erityisesti pudotushypyssä, sillä aika ennen törmäystä on suhteellisen pitkä. Suuria törmäysvoimia sisältävistä iskuista tulee haastavampia sietää lihasväsymyksen edetessä. Venytyskuormien sietokyvyn heikkeneminen johtuu alentuneesta kyvystä tuottaa voimia, mikä saattaa johtua osittain hitaammasta poikittaissiltojen muodostumisesta. (Nicol ym. 1991a.)

Kaksi tuntia kestäneen polkupyöräergometrikuormituksen jälkeen (intensiteetti 65 % maksimaalisesta aerobisesta tehosta) lihaksen maksimaalinen vääntömomentti laski 11–15 % harjoitelleilla miehillä. Vääntömomentin lasku oli yhteydessä myös vastus lateralis ja vastus medialis lihasten EMG-aktiivisuuden laskuun. Harjoitus johti myös aktiopotentialin keston pitenemiseen sekä sen amplitudin laskuun. Nämä osoittavat lihassolukalvojen johtumisnopeuden hidastumista sekä presynaptisten ja/tai motoristen päätelevyjen väsymistä. Myös reiden etuosan lihasten neuraalisissa ominaisuuksissa tapahtui muutoksia. Voimantuoton heikkenemiseen vaikuttavat useat, sekä sentraaliset että perifeeriset, mekanismit. Pitkäkestoinen harjoitus saattaa

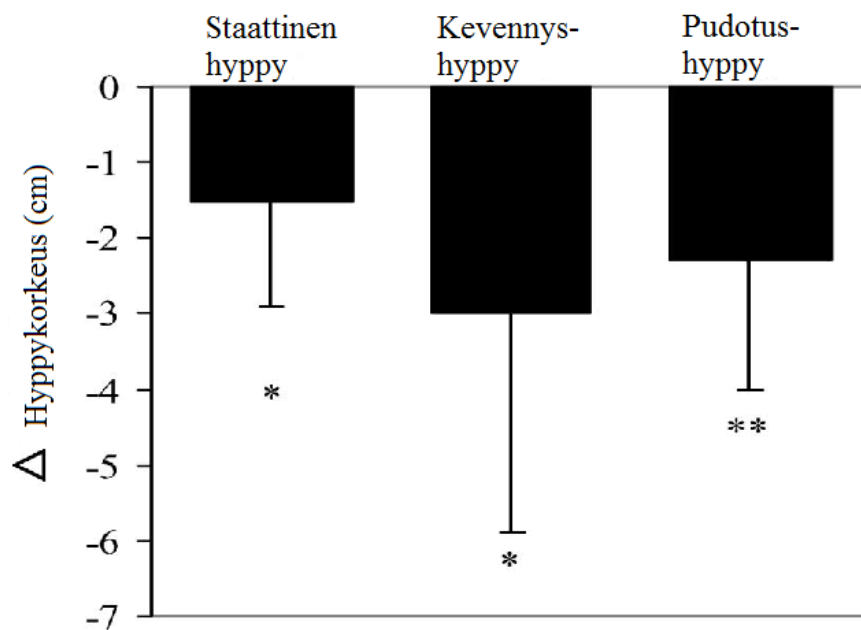
aiheuttaa myös muutoksia liikemalleihin. (Lepers ym. 2000a.) Lyhyempi uupumukseen asti suoritettu, keskimäärin noin 7 minuuttia kestänyt polkupyöräkuormitus, jossa intensiteetti nousi jatkuvasti, aiheutti noin 23 % laskun kevennyshypyn nousukorkeudessa fyysisesti aktiivisilla miehillä (kuva 6). Suoritus oli anaerobinen, mikä aiheutti metabolisia häiriöitä, jotka saattavat vaikuttaa vähentyneeseen lihasvoimaan, vähentyneeseen supistus- ja relaksaationopeuteen ja myöskin vähentyneeseen hyppytehoon. Laktaatin kerääntyminen oli vahvasti yhteydessä hypyn nousukorkeuden heikkenemiseen. (Kamandulis ym. 2016.) Kestävyysharjoittelu laskee laktaattitasoja kuormituksessa (McArdle ym. 2015, 474).



KUVA 6. Kevennyshypyn nousukorkeus ja laktaattipitoisuus ennen (pre) uupumukseen asti suoritettua polkupyöräergometrikuormitusta ja sen jälkeen (post) fyysisesti aktiivisilla miehillä. * = $p < 0,05$ verrattuna ennen harjoitusta (pre) mitattuihin arvoihin. (Mukailtu Kamandulis ym. 2016.)

Kun nuoret jalkapalloilijat suorittivat 42 minuttia pitkän lajinomaisen juosten juoksumatolla tehtävän intervallityyppisen kuormituksen, heikensi se akuutisti heidän suorituskykyään staattisessa hypyssä, kevennyshypyssä sekä pudotushypyssä (kuva 7). Käytetty kuormitusmalli sisälsi sekä submaksimaalisia että maksimaalisia venymis-lyhenemissykliä hyödyntäviä

harjoitteita samoin kuin säännöllisiä kiihdytyksiä sekä hidastuksia, mitkä lisäävät energiankulutusta ja aiheuttavat suurempia lihasvaurioita kuin yhtäjaksoiset harjoitteet samalla suhteellisella intensiteetillä. Tämä saattaa selittää erilaisia väsymyksen vasteita hyppysuorituksessa jatkuvan ja intervallityyppisen harjoituksen välillä. (Oliver ym. 2008.) Theurel ja Lepers (2008) ovat miespyöräilijöille tekemässään tutkimuksessaan havainneet intensiteetiltään vaihtelevan polkupyöräkuormituksen johtavan suurempaan jalkojen ojentajalihasten maksimaalisen voiman heikkenemiseen kuin yhtäjaksoisen harjoituksen, mikä johtui muutoksista sekä sentraalisissa että perifeerisissä väsymysmekanismeissa. Intervallityyppinen kuormitus kuormittaa yhtäjaksoista suoritusta enemmän anaerobista energiantuottosysteemiä, mikä saattaa johtaa suurempaan väsymykseen. (Theurel & Lepers 2008.)



KUVA 7. Staattisen hypyn, kevennyshypyn ja pudotushypyn nousukorkeuksien heikkeneminen 42 minuuttia kestäneen jalkapalloilijoille lajinomaisen juoksuharjoituksen jälkeen. * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$. (Mukailtu Oliver ym. 2008.)

Jalkapalloilijoille tehdyssä tutkimuksessa 20 minuutin kestävyysarjoitus juosten (syke 80 % HR_{max}) ei vaikuttanut merkittävästi kevennyshypyn nousukorkeuteen tai siinä tuotettuun maksimitehoon (Juárez ym. 2011). Vuorimaa ym. (2006) havaitsivat tutkimuksessaan, että mieskestävyysjuoksijoilla 20–40 minuutin intensiivinen juoksuharjoitus (nopeus 80–100 % maksimaalisen hapenottokyvyn nopeudesta) paransi vertikaalisuuntaista tehoa sekä yhtäjaksoisessa että intervallityyppisessä harjoituksessa. Jalkojen ojentajalihasten EMG-aktiivisuus laski harjoituksen seurauksena, mikä oli yhteydessä parantuneeseen tehontuottoon. Tutkimuksessa suorituskyky parani kevennyshypyn lisäksi maksimaalisessa puolikykyssä, joten lihaksen parantunut tehontuotto liittyy tehokkaamman venymis-lyhenemissyklin hyödyntämisen lisäksi myös muihin hermolihaskäytännön mekanismeihin. Koska kevennyshypyn nousukorkeus parani prosentuaalisesti enemmän kuin puolikyky, on mahdollista, että elastisen energian lisääntynyt hyödyntäminen saattaa ainakin osin selittää akuuttia kestävyysarjoituksen aiheuttamaa parannusta alaraajojen tehontuotossa kestävyysarjoittelijoilla urheilijoilla. Myös alaraajojen ojentajalihasten vähentynyt EMG-aktiivisuus tukee tätä oletusta. On mahdollista, että pitkiin ja uuvuttaviin juoksuharjoituksiin tottuneiden kestävyysurheilijoiden väsymys on hyvin spesifiä. Kestävyysurheilijoilla ei uuvuttavissa intervallijuoksuissa lisäys harjoituksen intensiteetissä ja sitä kautta kasvu veren laktaattipitoisuudessa vaikuttaisi olevan yhteydessä ennemmin parantuneeseen kuin heikentyneeseen räjähtävään voimantuottoon. Tämä saattaa selittyä urheilijoiden harjoittelutaustalla ja adaptaatioilla erityyppisiin juoksuharjoituksiin. (Vuorimaa ym. 2006.)

4.2 Hermolihaskäytännön nopeusvoimaominaisuuksien palautuminen kestävyysarjoituksen jälkeen

Palautuminen harjoituksen jälkeen ei ole täydellistä ennen kuin aineenvaihdunta on palautunut samalle tasolle kuin mitä se oli ennen harjoitusta. Harjoitus, joka johtaa sekä ATP- että PCr-varastojen tyhjentymiseen ja lisääntyneeseen laktaatin ja vetyionien kerääntymiseen, vaatii pidemmän palautumisen, jotta saavutetaan harjoitusta edeltänyt taso, sillä vetyionien kasaantuminen hidastaa palautumista. Jos harjoituksen aikana pystytään tuottamaan energiaa enemmän aerobisilla menetelmillä, on myös palautuminen tällöin nopeampaa. Kykyyn suorittaa maksimaalisesti toistuvia suorituksia vaikuttavat sekä harjoituskuormitus että palautusjaksot. Hyvään aerobiseen tehoon yhteydessä olevat aineenvaihdunnan sekä hengitys- ja verenkiertoelimistön

adaptaatiot johtavat nopeampaan palautumiseen kovaintensiteettisestä harjoituksesta. (Tomlin & Wenger 2001.)

Keskimäärin noin 7 minuuttia kestäneen uupumukseen asti suoritettua polkupyöräkuormituksen jälkeen, jossa intensiteetti nousi jatkuvasti, oli hyppykorkeus puolen tunnin palautuksen jälkeen vielä noin 3,5% alkutilannetta matalampi fyysisesti aktiivisilla miehillä (kuva 6). Laktaattipitoisuuden ja hypyn nousukorkeuden väliltä löytyi vahva korrelaatio. Palautuminen sekä hyppykorkeuden että laktaatin osalta olivat nopeita verrattuna lihasvauriota aiheuttavaan plyometriseen harjoitukseen. Palautuminen oli lähes täydellistä 30 minuutin passiivisen palautuksen jälkeen. Hyppykorkeus on herkkä, mutta lyhytkestoinen indikaattori harjoituksen aiheuttamalle väsymykselle, sillä aineenvaihduntatuotteet katoavat lihaksista nopeasti. (Kamandulis ym. 2016.)

5 MURROSIÄN VAIKUTUS SUORITUSKYKYYN

Murrosikä on vaihe lapsuuden ja nuoruuden välissä, johon liittyy aikuisuuden lisääntymiskyvyn alkaminen ja nuoruuden kasvupyrähdys (Ellison 2002, 65; Malina ym. 2004, 283). Murrosikä alkaa tytöillä keskimäärin 11-vuotiaana (Rogol ym. 2000) mutta erot yksilöiden välillä voivat olla hyvinkin suuria (Malina ym. 2004, 337). Tytöillä kuukautisten alkamisaikaa voi käyttää arvioimaan seksuaalista kypsyyttä, mikä onkin tyypillisin mittari osoittamaan naisilla nuoruuden alkamista (Malina ym. 2004, 283, 291). Kuukautiset alkavat keskimäärin 12–13-vuotiaana murrosiän loppupuolella noin vuosi pituuskasvupyrähdysen jälkeen (Malina ym. 2004, 314, 317).

Pituuskasvun huippu on tytöillä noin 12 vuoden iässä (Malina ym. 2004, 309). Paino kehittyy tytöillä hieman pituuskasvua jäljessä, jolloin pituuskasvun hidastuessa rasvan kertyminen kehoon lisääntyy (Rogol ym. 2000). Rasvan määrä lisääntyy tytöillä tasaisesti nuoruudessa, jolloin myös rasvaprosentti kasvaa (Ellison 2002, 74; Malina ym. 2004, 114). Kuukautisten alkaminen on yhteydessä lisääntyneeseen rasvan määrään kehossa (Malina ym. 2004, 350). Rasvan määrän lisääntymisen ohella myös kehon rasvaton massa lisääntyy. Painoindeksin, kehon rasvan massan ja kehon rasvattoman painon massan on todettu eroavat merkittävästi pre- ja post-puberteetti-ikäisillä telinevoimistelijatyttöillä. (Weimann 2002.)

Säännöllisellä fyysisellä aktiivisuudella on tärkeä merkitys normaalin kasvun ja kehityksen kannalta (Malina ym. 2004, 479). Kuitenkin hyvin intensiivinen harjoittelu lapsuudessa ja nuoruudessa saattaa vaikuttaa murrosiän normaaliin kehitykseen (Theintz ym. 1993; Weimann 2002; Malina ym. 2004, 480). Huippu-urheiluun tähtäävä harjoittelu näyttäisi vaikuttavan perimää enemmän murrosiän alkamisen ajankohtaan, sillä kuukautisten alkamisaikaa on todettu olevan yhteydessä kovaan harjoitteluun sekä kehon rasvan määrään (Georgopoulos ym. 1999). Vähäinen rasvan määrä kehossa ja liian vähäinen ravinnon saanti vaikuttavat murrosiän viivästyntymiseen. Myös harjoittelun alkamisajankohta ja harjoittelun määrä vaikuttavat tähän. (Weimann 2002.) Voimistelijoille on tyypillistä sekä vähäinen energiansaanti että muita samanikäisiä matalampi rasvaprosentti, minkä vuoksi voimistelijoilla murrosikä sekä kuukautisten alka-

minen usein viivästyvät (Theintz ym. 1993; Weimann 2002). Voimistelijoilla murrosiän ja kuukautisten on todettu alkavan myöhemmin kuin esimerkiksi uimareilla (Theintz ym. 1993). Rytmisillä voimistelijoilla tehdyssä tutkimuksessa kuukautisten on todettu alkaneen keskimäärin 14,3 vuoden iässä. Todellisuudessa keskiarvo on korkeampi, sillä useammalla yli 15-vuotiaalla koehenkilöllä kuukautiset eivät olleet vielä tutkimushetkellä alkaneet. (Georgopoulos ym. 1999.)

Erot kasvussa ja suorituskvyvyssä tulevat usein selvästi esiin nuoruudessa (Malina ym. 2004, 337). Kuukautisten alkamisaika ei vaikuttaisi olevan merkittävästi yhteydessä muutoksiin suorituskvyvyssä. Suorituskvyvyn muutokset noin kolme vuotta eteenpäin kuukautisten alkamisesta eivät ole kovin suuria. (Malina ym. 2004, 331–332). Tytöillä suorituskvyky kehittyy luontaisesti vain hyvin vähän 14 tai 15 ikävuoden jälkeen, mikä saattaa johtua esimerkiksi rasvan määrän lisääntymisestä. Rasvan kertymisellä on negatiivinen vaikutus suorituskvykyyn, sillä se lisää kannettavaa painoa. (Malina ym. 2004, 224, 226.)

Tytöillä lihasvoima lisääntyy eniten nopeimman pituuskasvun aikana tai hieman sen jälkeen sekä noin puoli vuotta ennen suurinta painon lisääntymisen vaihetta (Malina ym. 2004, 327). Isometrinen voima ja kestovoima lisääntyvät tytöillä tasaisesti noin 16–17 ikävuoteen saakka ilman, että siinä on nähtävissä nopean pituuskasvun aiheuttamaa muutosta. Lihasten toiminnassa ja lihaskudoksessa tapahtuu muutoksia lapsuudessa ja nuoruudessa, mikä on yksi tärkeä tekijä voiman ja suorituskvyvyn kehittymisessä. (Malina ym. 2004, 218–220.) 12–14-vuotiaista tytöistä ne, joilla kuukautiset ovat alkaneet, ovat vahvempia kuin ne, joilla kuukautiset eivät ole vielä alkaneet. Aiemmin kypsyvät ovat usein myös kehon kooltaan isompia, mikä saattaa selittää heidän vahvuuttaan. (Malina ym. 2004, 352.) Kypsyystasoltaan varttuneemmat pystyvät tuottamaan suurempia absoluuttisia maksimivoimia kuin vähemmän kypsät yksilöt, mutta kehon painoon suhteutetussa voimantuotossa ei vaikuttaisi olevan eroa biologiselta iältään eroavien tyttöjen välillä (Emmonds ym. 2017). Absoluuttinen isometrinen maksimivoima ja tietyssä ajassa tuotetun voiman absoluuttinen määrä ovat murrosikäisillä telinevoimistelija tytöillä prepuberteetti-ikäisiä suurempia. Kehon painoon suhteutettuna tuotetun voiman määrässä ei ryhmien välillä ollut havaittavissa eroa. (Moeskop ym. 2020.)

Myöskään absoluuttisessa voimantuoton nopeudessa (RFD) ei havaittu tutkimuksessa eroja eri kypsyysvaiheessa olevien voimistelijoiden välillä. Moeskopsin ym. (2020) mukaan esimurrosikäisten suhteellinen voimantuottonopeus on suurempaa kuin murrosikäisillä, mikä saattaa näkyä haitallisesti suorituskyvyssä esimerkiksi hyppyjen kohdalla, jos voimistelijat eivät pysty kypsymisen myötä liikuttamaan suurempaa kehon painoa yhtä nopeasti. (Moeskops ym. 2020.) Vertikaalihyppyjen suoritukset kehittyvät tytöillä noin 14 ikävuoteen saakka, minkä jälkeen kehitys tasaantuu (Malina ym. 2004, 221). Vertikaalihyppyjen korkeudet ovat murrosikäisillä ja murrosiän ohittaneille selkeästi esimurrosikäisiä suurempia (Birat ym. 2020). Kehon rasvatoman massan määrä on yhteydessä isometriseen voimaan, mutta se voi olla myös rajoittava tekijä suorituksissa, joissa kehon painoa tulee liikuttaa, kuten vertikaalihypyissä (Malina ym. 2004, 226).

Absoluuttiset maksimaalisen hapenottokyvyn VO_{2max} arvot kehittyvät lapsuudessa ja nuoruudessa sydämen ja keuhkojen kasvaessa sekä lihasmassan lisääntyessä luontaisen kasvun seurauksena (Rowland 2013). Absoluuttinen VO_{2max} kasvaa iän myötä prepuberteetti-ikästä murrosikään, mutta muutosta murrosiästä aikuisuuteen ei ole havaittavissa. Nuoruuden kasvupyrähdyksen aikana VO_{2max} :n kehitys tasoittuu tai se jopa hieman heikkenee. (Malina ym. 2004, 360.) Absoluuttinen VO_{2max} lisääntyy kaksi vuotta ennen kuukautisten alkamista ja vielä kaksi vuotta kuukautisten alkamisen jälkeen, kun taas suhteellinen VO_{2max} heikkenee tänä aikana. Tytöillä VO_{2max} :n kasvu on hitaampaa, kuin mitä pituuden ja painon kasvun perusteella voisi olettaa. (Malina ym. 2004, 332.) Kehon massa kasvaa VO_{2max} :ia enemmän murrosiän kasvupyrähdyksen jälkeen, minkä seurauksena kehon painoon suhteutettu VO_{2max} heikkenee tytöillä 12–13 vuodesta eteenpäin. (Malina ym. 2004, 243.) 14-vuotiailla tytöillä ja nuorilla aikuisilla on todettu hyvin samantapaisia vasteita pidempään aerobiseen suoritukseen, ainoastaan laktaattipitoisuus on matalampi (Malina ym. 2004, 247). Maksimaalinen veren laktaattipitoisuus lisääntyy kasvun myötä johtuen pääosin hormonaalisista muutoksista. Maksimaalisen työn lisäksi myös submaksimaalisessa työssä lapsilla ja nuorilla laktaattipitoisuudet ovat aikuisia matalampia. (Malina ym. 2004, 258.)

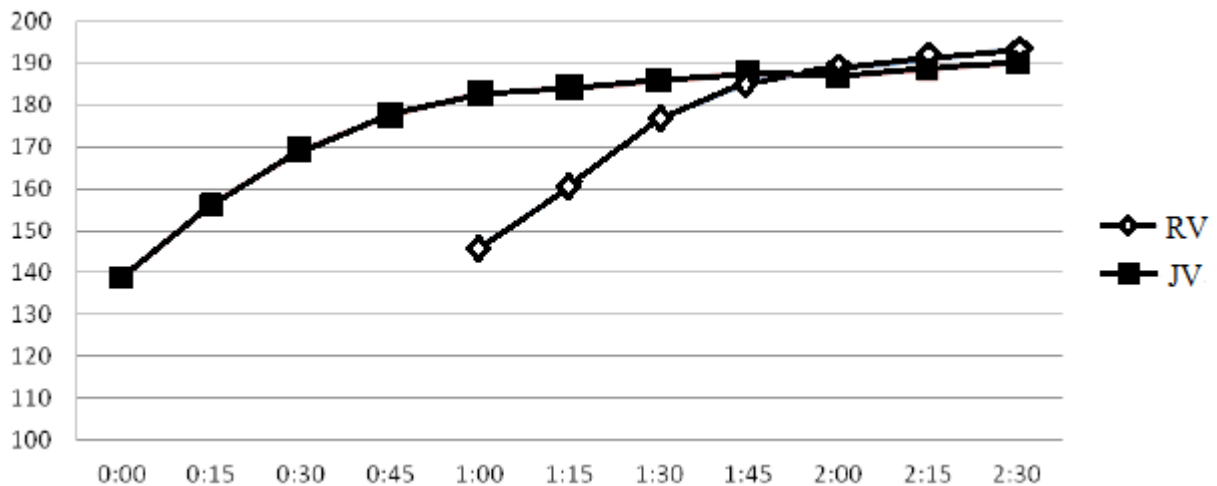
Lihasmassa kasvaa erityisesti murrosiän pituuskasvun aikana, millä on suora vaikutus anaerobiseen tehoon, mikä on mahdollista tuottaa (Malina ym. 2004, 258). Anaerobisessa energian-

tuotannossa tarvittavan entsyymien fosfofruktokinaasin määrä on lapsilla ja nuorilla aikuisia matalampi, minkä vuoksi he eivät pysty hyödyntämään anaerobista energiantuotantoa yhtä tehokkaasti kuin aikuiset. Anaerobiset energiantuottomekanismit eivät ole täysin kypsiä vielä nuoruuden kasvupyrähdyksen jälkeen. (Malina ym. 2004, 259.) Lapset ja nuoret palautuvat aikuisia nopeammin korkeaintensiteettisestä anaerobisesta harjoituksesta, sillä he tuottavat aikuisia vähemmän laktaattia (Malina ym. 2004, 246, 264). Laktaatin poistumisnopeudessa ei vaikuttaisi olevan eroja prepuberteetti-ikäisillä ja aikuisilla. Mahdollisesti myös muut kypsyyteen liittyvät erot, kuten lihaksen rakenne ja aineenvaihdunnalliset tekijät saattavat vaikuttaa nopeampaan palautumiseen. (Falk & Dotan 2006.)

6 JOUKKUEVOIMISTELU LAJINA

Urheilulajina joukkuevoimistelu vaatii taitoa, voimaa, liikkuvuutta sekä ilmaisullisuutta ja eläytymiskykyä kilpailuohjelmaan. Hyvä koordinaatiokyky sekä rytmitaju ovat myös oleellisia. Laji koostuu muun muassa monipuolisista tasapaino- ja vartalonliikkeistä, hyppyistä, käsi- ja jalkaliikkeistä sekä hyppelyistä. Joukkuevoimistelussa kilpailuohjelma muodostaa liikkeiden ja musiikin taiteellisen kokonaisuuden, jolle on tyypillistä ilmaisullisuus sekä joukkueen voimistelijoiden yhtenäinen ja yhdenaikainen suorittaminen. (Laine-Näätänen 2012, 359–360). Antropometriset muuttujat, liikkuvuus, räjähtävä voima, aerobinen kapasiteetti ja anaerobinen energiantuotto ovat tärkeitä ominaisuuksia voimistelijalle (Douda ym. 2008). Suurimmat erot Doudan ym. (2008) mukaan huipputason ja ei-huipputason voimistelijoiden välillä ovat maksimaalisessa hapenottokyvyssä sekä antropometriassa. Voimistelijoilta vaaditaan voimaa ja liikkuvuutta hyppyjen teknisesti oikeaan suorittamiseen, mutta myös kestävyyttä toistaa hyppyjä läpi pitkän harjoituksen. (Douda ym. 2008.) Vatsa- ja selkälihakset ovat tärkeitä lihasryhmiä voimistelijoille ja niiden merkitys korostuu etenkin tasapainojen ja piruettien oikeassa tekniikässä suorittamisessa. Alaraajojen lihasten tehontuottokykyä vaaditaan hypyissä. (Gateva 2013.)

Gateva (2014) on tutkimuksessaan todennut joukkuevoimistelun kilpailuohjelman aikana sydämen sykkeen nousevan lähelle maksimiaan (noin 190 lyöntiä/min) noin minuutin jälkeen ja pysyvän siellä 2,5 minuuttia pitkän suorituksen loppuun asti (kuva 8). Joukkuevoimistelun kilpailuohjelman suorittamisessa energiantuottoon käytetään osin myös anaerobista glykolyysia, mistä on osoituksena selkeästi yli anaerobisen kynnyksen olevat laktaattipitoisuudet (keskimäärin hieman alle 9 mmol/l) suorituksen jälkeen. (Gateva 2014.) Rytmissä voimistelussa, jossa kilpailuohjelman pituus on 1,5 minuuttia, eli hieman joukkuevoimistelun kilpailuohjelmaa lyhempi, on kilpailuohjelman jälkeisen hapenkulutuksen arvioitu submaksimaalisen kestävyystestin pohjalta olevan noin 47 ml/kg/min (Gateva 2015). Rytminen voimistelu ja joukkuevoimistelu ovat lajeina hyvin pitkälle samankaltaisia (Gateva 2014).

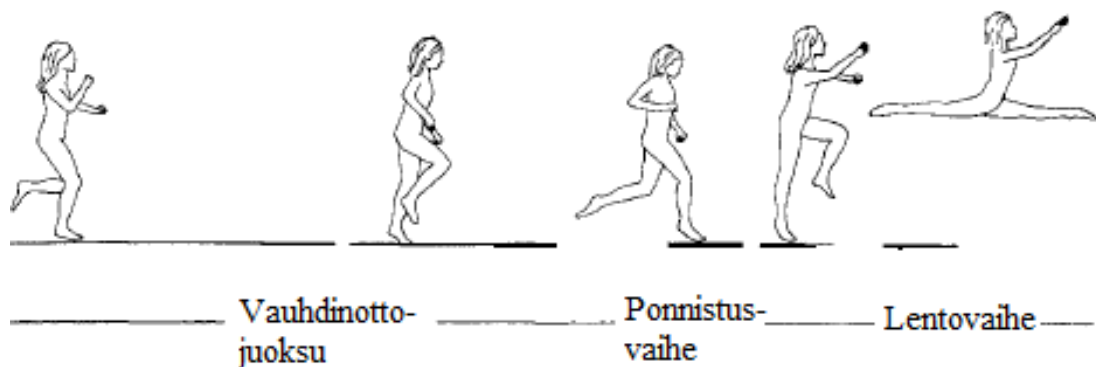


KUVA 8. Kilpailuohjelman aikaiset keskisykkeet joukkuevoimistelussa (JV) sekä rytmisessä voimistelussa (RV) (mukailtu Gateva 2014).

Voimisteluharjoittelussa tulisi aina huomioida tehdyn harjoituksen siirtovaikutus voimisteluun (Jemni & Sands 2011, 26). Voimistelussa harjoitukset sisältävät usein balettia, voimaa, ketteryyttä, liikkuvuutta sekä aerobisen tehon harjoittamista. Tekniikkaharjoitteluun kuuluu sekä yksittäisten vaikeusosien, esimerkiksi tasapainojen ja hyppyjen, harjoittaminen että kokonaisten ja osittaisten ohjelman suoritusten tekeminen. (Batista ym. 2018; Debien ym. 2019.) Tehtyjen kokonaisten ohjelman suoritusten määrä on suurin kilpailukaudella, mutta yleensä määrä vähenee kilpailuviikoille. Harjoituskuormitus on suurimmillaan kilpailukaudella sekä päivittäisen että viikoittaisen kuormituksen osalta verrattuna valmistavaan kauteen sekä kilpailuviikkoihin. Kilpailukaudella voimistelijoiden palautuneisuuden on kuitenkin todettu olevan valmistavaa kautta parempaa. Kilpailuviikoilla voimistelijoiden palautuminen on kuitenkin helposti heikompaa kuin valmistavalla- tai kilpailukaudella, jolloin palautumiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. (Debien ym. 2019). Intensiivisissä harjoituksissa voimistelijat joutuvat usein tekemään suorituksia myös väsyneenä (Jemni & Sands 2011, 29). Rytmisiltä voimistelijoilta on mitattu noin 2,5 tunnin harjoituksen ajalta 137–150 keskisykkeitä (Fernandez-Villarino 2015). Valmistavalla kaudella rytmisille voimistelijoille tehdystä tutkimuksesta kolmen tunnin harjoitus ei ollut riittävän intensiivinen, jotta anaerobista energiantuottoa olisi käytetty tärkeimpänä energiantuottajana. Harjoituksen aikana voimistelijat oppivat pääasiassa uusia taitoja ja

lyhyitä ohjelmapätkiä tulevaa kautta varten. Pieniä määriä laktaattia saattoi muodostua harjoituksen aikana, mutta laktaattipitoisuus ei harjoituksen aikana kohonnut tilastollisesti merkittävästi. (Gateva 2011, 51–52.) Voimistelijoiden vasteet harjoitukselle ovat aina yksilöllisiä riippuen mm. biologisesta kypsyydestä, levosta, ravinnosta sekä kuntotasosta (Jemni & Sands 2011, 27).

Hyppysuorituksiin joukkuevoimistelussa vaikuttavat merkittävästi nopeus, räjähtävä voimantuotto sekä liikkuvuus (Mkaouer ym. 2012; Rodriguez Galán & Gómez-Landero Rodriguez 2018). Voimisteluhypyissä on kolme erillistä vaihetta, jotka ovat ponnistus, lentovaihe (kuva 9) sekä alastulo, joista lentovaihe on tärkein. Hyppyjen ponnistuksissa käytetään voimistelussa usein erilaisia askeleita tai juoksua alla. Ponnistus voi tapahtua yhdeltä tai kahdelta jalalta. Lähestymisnopeus määrittää ponnistuksen tehon, ja voimistelussa paras lähestymisintensiteetti on keskinkertainen. Ponnistus tapahtuu aina pienestä kyykystä, ja optimaalisin polvikulma ponnistukseen on noin 110 astetta. Hyvä hyppy vaatii tarkan, vahvan ja nopean ponnistuksen oikeaan suuntaan. Hypyn tehokkuuteen vaikuttavat myös käsien ja jalkojen liikkeiden koordinaatio. Kädet auttavat hypyissä saavuttamaan tehokkaamman ponnistuksen. (Purenović ym. 2010.) Hidas ponnistusvaihe hypyissä johtaa usein heikompaan hyppysuoritukseen. Mitä pidempi ilmalentoaika hypyissä on, sitä pidempi aika voimistelijalla on aikaa näyttää tuomareiden arvioima hypyn tarkka muoto. (Rodriguez Galán & Gómez-Landero Rodriguez 2018.) Mitä vaikeampi hypyn haluttu muoto on, sitä pidemmän lentoajan se tarvitsee. Tekninen suorittaminen saattaa vaikuttaa voimistelussa hyppyjen nousukorkeuteen voimaa ja tehoa enemmän. (Di Cagno 2010.) Hyvät voimistelijat saavuttavat hypyn muodon nopeammin ja pystyvät siten näyttämään muodon pidempään ilmalennon aikana (Dyhre-Poulsen 1987).



KUVA 9. Harppahypy juoksuvauhdilla (mukailtu Dyhre-Poulsen 1987).

Harppahypyn (kuva 9) vertikaalisuuntaisen nousukorkeuden on eri tutkimuksissa todettu rytmisillä voimistelijoilla olevan noin 33–40 cm (Dyhre-Poulsen 1987; Mkaouer ym. 2012). Lentoajoiksi harppahypyistä on mitattu Di Cagnon ym. (2010) tutkimuksessa noin 450 ms ja Di Cagnon ym. (2008) tutkimuksessa noin 490 ms. Ponnistusvaiheen kesto vaihtelee tutkimustulosten mukaan 190–510 ms välillä (Di Cagno ym. 2008; Cicchella 2009; Di Cagno ym. 2010). Lentovaiheen keston on todettu olevan hypystä mitatuista muuttujista vakain (Cicchella 2009). Mkaouer ym. (2012) mittasivat tutkimuksessaan harppahypyn huipputehoksi noin 1600 W. Dyhre-Poulsenin (1987) mukaan hypyssä tuotetaan yli 3,5-kertaisia vertikaalisuuntaisia voimia voimistelijan kehonpainoon verrattuna.

Harppahypyn ja kevennyshypyn välillä on Dyhre-Poulsenin (1987) tutkimuksessa havaittu pieni positiivinen korrelaatio ($r=0,32$, $p<0,035$). Harppahypyn nousukorkeus oli 14–21-vuotiailta voimistelijoilla keskiarvoisesti noin 33 cm, kun taas kevennyshypyn nousukorkeudet olivat keskimäärin noin 28 cm. Harppahypyn suurempaan nousukorkeuteen vertikaalihypyyn verrattuna saattoi vaikuttaa ennen ponnistusta otettu vauhdinottojuoksu. (Dyhre-Poulsen 1987.) Di Cagnon ym. (2008) tutkimuksesta ei löytynyt yhteyttä kevennyshypyn ja harppahypyn lentoaikojen välille. Teknisellä komponentilla on suuri merkitys voimisteluhypyissä, mistä saattaa johtua se, ettei yhteyttä hypyjen välille löytynyt. Jalkojen jäykkyydellä on todettu olevan suuri

merkitys voimistelun hyppysuorituksiin. (Di Cagno ym. 2008.) Gateva (2013) mittasi tutkimuksessaan 14–19-vuotiaille voimistelijoille kevennyshypyn keskimääräisiksi nousukorkeuksiksi vastaavasti 33,9–37,4 cm. Parhaat tulokset 19-vuotiailla voimistelijoilla kevennyshypyssä, jossa käsien käyttö oli sallittu, olivat yli 50 cm. (Gateva 2013.)

7 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kolmen erilaisen harjoituskuormituksen; plyometrisen harjoituksen, kestävyysharjoituksen ja joukkuevoimistelulle lajinomaisen harjoituksen sekä joukkuevoimistelun kilpailuohjelman akuutteja vaikutuksia joukkuevoimistelijoiden hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa selvitettiin palautumisen taso yksi vuorokausi harjoituksen jälkeen.

1. Miten erilaiset harjoituskuormitukset vaikuttavat akuutisti joukkuevoimistelijan hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin?

Hypoteesi: Heikentävät tai parantavat akuutisti hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksia.

Perustelu: Plyometristen harjoitteiden on todettu heikentävän lihasten supistumisominaisuuksia ja siten voimantuottoa (Drinkwater ym. 2009). Intensiteetiltään kevyempi plyometrinen harjoitus saattaa myös vaikuttaa positiivisesti nopeaan voimantuottoon (Tobin & Delahunt 2014). Lajinomaisen 42 minuuttia pitkän kestävyysharjoituksen on jalkapalloilijoilla todettu akuutisti heikentävän suorituskykyä vertikaalihypyissä (Oliver ym. 2008). Myös noin kaksi tuntia kestävä harjoitus heikentää kokonaisuudessaan nopeusvoimaominaisuuksia, sillä esimerkiksi Leppers ym. (2000) totesivat tutkimuksessa kahden tunnin juoksusuorituksen heikentävän akuutisti vertikaalihypyn suoritusta. Vuorimaa ym. (2006) taas totesivat tutkimuksessaan kestävyysjuoksijoille, että intensiivinen 20–40 minuuttia kestävä juoksuharjoitus johti akuuttiin vertikaalihypyn suorituskyvyn paranemiseen

2. Onko erilaisten harjoituskuormitusten välillä eroja akuuteissa muutoksissa nopeusvoimaominaisuuksissa?

Hypoteesi: On.

Perustelu: Voimistelijat ovat tottuneimpia lajinomaiseen lämmittelyyn, joten voi olla, että sen aiheuttamat akuutit muutokset ovat pienimmät. Lajinomainen lämmittely ei myöskään kuormita hermolihasjärjestelmään samalla tavalla kuin esimerkiksi plyometrinen nopeusvoimaharjoitus.

3. Eroaako eri harjoituskuormitusten jälkeinen palautuminen toisistaan?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Kovaintensiteettisen plyometrisen harjoituksen on tutkimuksissa todettu heikentävän suorituskykyä vertikaalihypyissä jopa yli 72 tuntia harjoituksen jälkeen (Chatzinikolaou ym. 2010). Lyhyemmän kestävyysharjoituksen jälkeen palautuminen saattaa tapahtua hyppysuoritusten osalta jo alle tunnin sisään harjoituksen jälkeen (Kamandulis ym. 2016).

4. Ovatko kuormitusten akuutit vaikutukset erilaisia pre- ja post-puberteetti-ikäisillä?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Puberteetti-ikäisillä laktaatin tuotto on kypsempiä yksilöitä vähäisempää. 14-vuotiailla tytöillä ja nuorilla aikuisilla on todettu hyvin samantapaisia vasteita pidempään aerobiseen suoritukseen, ainoastaan laktaattipitoisuus on matalampi (Malina ym. 2004, 247).

5. Onko puberteetti- ja postpuberteetti-ikäisillä eroja suorituskyvyssä?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Murrosiässä olevat ja sen ohittaneet tytöt pystyvät tuottamaan suuremman absoluuttisen voiman tietyssä ajassa sekä suuremman absoluuttisen isometrisen maksimivoiman (Moeskops ym. 2020). Kuukautisten alkaminen on yhteydessä lisääntyneeseen rasvan määrään kehossa. Verrattaessa tyttöjä, joilla kuukautiset eivät ole alkaneet tyttöihin,

joilla ne ovat alkaneet, on heidän välillään suuri ero rasvan määrässä. (Malina ym. 2004, 350.) Vertikaalihypyjen korkeudet ovat murrosikäisillä ja murrosiän ohittaneille selkeästi esimurrosikäisiä suurempia (Birat ym. 2020). Absoluuttinen VO_{2max} lisääntyy kaksi vuotta ennen kuukautisten alkamista ja vielä kaksi vuotta kuukautisten alkamisen jälkeen, kun taas suhteellinen VO_{2max} heikkenee tänä aikana. Tytöillä VO_{2max} :n kasvu on hitaampaa, kuin mitä pituuden ja painon kasvun perusteella voisi olettaa. (Malina ym. 2004, 332. Kun tuotettu voima suhteutetaan kehon painoon eroa ei ryhmien välillä ole (Moeskops ym. 2020).

8 MENETELMÄT

8.1 Tutkittavat

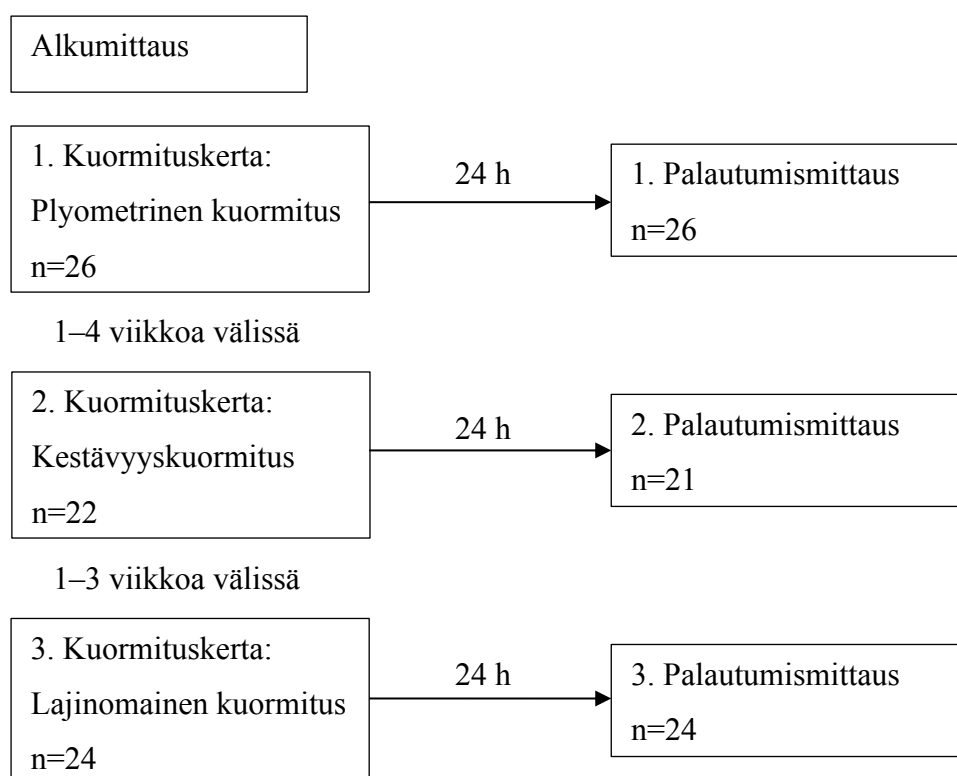
Tutkittavina tutkimuksessa toimi 27 naispuoleista 13–18-vuotiasta joukkuevoimistelijaa (taulukko 2). Tutkittavat olivat neljästä yli 14-vuotiaiden SM-sarjan, eli Suomen korkeimman sarjatason joukkueesta. Harjoitustaustaa voimistelulajeista tutkittavilla oli keskimäärin $8,9 \pm 2,1$ vuotta. Lajiharjoittelun määrä tutkittavilla oli $18,5 \pm 2,9$ tuntia viikossa ja liikunnan ja urheilun yhteismäärä viikossa keskimäärin $23,7 \pm 3,0$ tuntia. Tutkimukseen osallistuminen oli tutkittaville vapaaehtoista. Ennen tutkimuksen aloittamista tutkittaville selvitettiin kirjallisesti tutkimuksen kulku sekä siitä mahdollisesti aiheutuvat haitat. Tutkittavat allekirjoittivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta, alle 15-vuotiaiden tutkittavien kohdalla suostumukseen vaadittiin huoltajan allekirjoitus. Lisäksi jokainen osallistuja täytti esitieto- ja terveyslomakkeen, jossa varmistettiin soveltuvuus tutkimukseen. Kyselyllä selvitettiin myös kuukautisten alkamisen ajankohta, jonka perusteella tutkittavat jaettiin puberteetti ja postpuberteetti ryhmiin. Kuukautisten olivat alkaneet postpuberteettiryhmällä keskimäärin 13,4-vuotiaana ($\pm 1,3$). Tutkittavat osallistuivat tutkimuksen mittauksiin vain terveinä ja ilman vammoja, minkä vuoksi koehenkilöiden määrä jokaisella mittauskerralla ei ollut sama. Jyväskylän Yliopiston eettinen toimikunta hyväksyi tutkimuksen.

TAULUKKO 2. Tutkittavien taustatiedot. SMM = luurankolihasen massa (skeletal muscle mass). * = tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä, $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$.

	Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasvaprosentti (%)	SMM (kg)
Puberteetti n=11	$14,5 \pm 0,7$	$163,7 \pm 6,5$	$50,2 \pm 8,4$	$15,2 \pm 4,2$	$23,0 \pm 3,8$
Postpuberteetti n=16	$15,7 \pm 1,4$	$163,6 \pm 4,9$	$56,5 \pm 5,1$	$20,5 \pm 3,8$	$24,4 \pm 2,4$
Kaikki n=27	$15,2 \pm 1,3$	$163,7 \pm 5,5$	$53,9 \pm 7,2$	$18,3 \pm 4,7$	$23,8 \pm 3,1$

8.2 Tutkimusastelema

Tutkimusasetelma koostui alkumittauskerrasta, kolmesta varsinaisesta kuormituksesta sekä kolmesta palautumismittauksesta, jotka suoritettiin noin vuorokausi varsinaisen kuormituksen jälkeen (kuva 10). Alkumittaukset suoritettiin ennen varsinaisia kuormituksia, ja tutkittavat tulivat alkumittauksiin yksin. Varsinaiset kuormitukset suoritettiin pääsääntöisesti viikon välein, mutta yhdellä joukkueista mittauskertojen välillä oli yli viikko. Kuormituksissa mittauskerroilla oli mukana aina yksi joukkue kerrallaan. Tutkimukseen osallistuneista 27 tutkittavasta kaikki eivät esimerkiksi loukkaantumisten takia pystyneet osallistumaan jokaiseen kuormituskertaan. Ensimmäiseen kuormitus- ja palautumismittauskertaan osallistui 26 tutkittavaa, toiseen kuormituskertaan 22 ja toiseen palautumismittaukseen 21 tutkittavaa ja kolmanteen kuormitus- ja palautumismittaukseen 24 tutkittavaa.



KUVA 10. Tutkimusasetelma.

8.2.1 Alkumittaukset

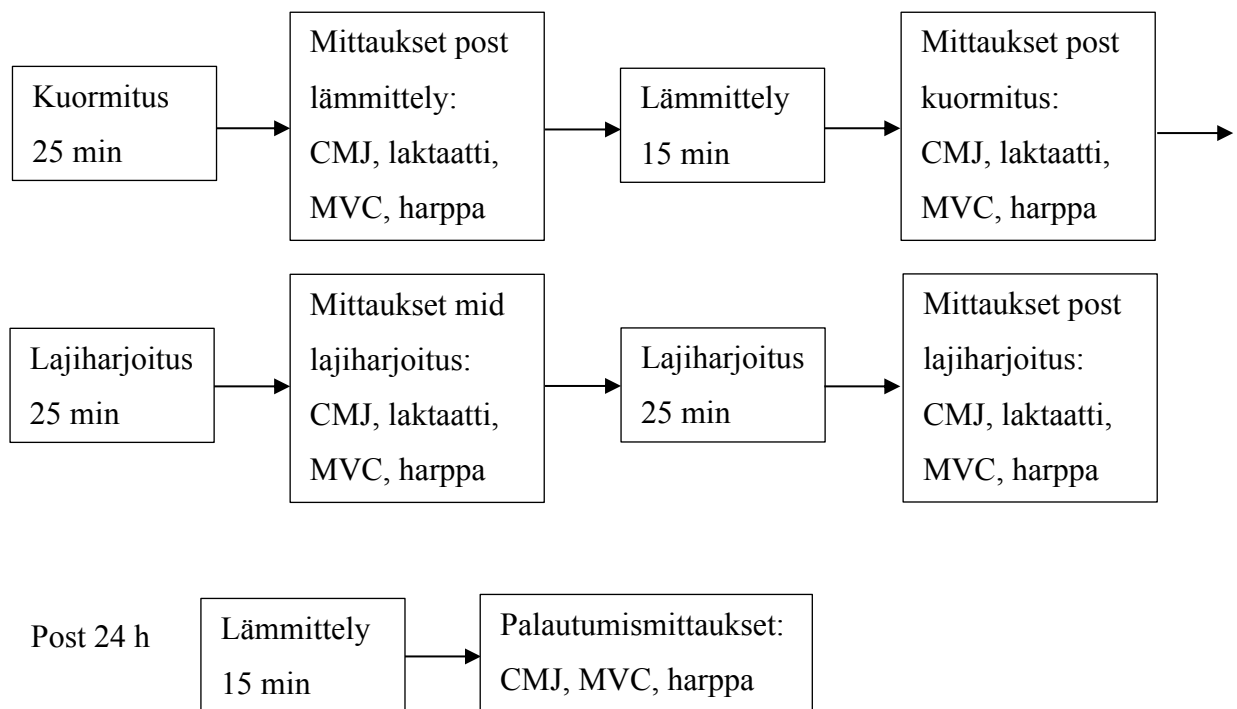
Alkumittausten tarkoituksena oli määrittää tutkittavien antropometrisia muuttujia sekä perehdyttää heidät jalkojen ojentajalihasten isometrisen maksimivoiman testaamiseen sekä kontaktimatolla tehtävään kevennyshyppyyn. Tutkittavat saivat harjoitella liikkeitä niin kauan, kunnes liikkeiden suoritustapa oli toivotunlainen eikä tulos enää parantunut. Perehdyttämisen tarkoituksena oli minimoida mahdollinen oppimisvaikutus sekä tehdä testit ja niiden suorittaminen tutuiksi tutkittaville, jotta ne onnistuisivat varsinaisella mittauskerralla sujuvasti. Lisäksi tutkittavat suorittivat polkupyöraergometrillä WHO:n submaksimaalisen testin VO_{2max} arvioimiseksi. Alkumittaukset suoritettiin sisätiloissa laboratorio-olosuhteissa.

Antropometrisista muuttujista tutkittavilta mitattiin pituus ja paino sekä arvioitiin kehonkoostumusta InBody 770 -laitteella (InBody Co, Ltd., Korea). Antropometristen mittauksen jälkeen tutkittavat suorittivat viiden minuutin lämmittelyn polkupyöraergometrillä tehon ollessa noin 40–50 W. Tämän jälkeen tutkittavat suorittivat ensin esikevennyshypyn kontaktimatolla ja sen jälkeen jalkojen ojentajalihasten isometrisen maksimivoiman testin voimadynamometrissä. Viimeisenä alkumittauksissa suoritettiin submaksimaalinen polkupyöraergometritesti. Lisäksi tutkittavat täyttivät alkumittausten yhteydessä kyselyn, jossa selvitettiin heidän harjoitusvuosiinsa joukkuevoimistelussa sekä nykyistä lajiharjoitusten ja muun liikunnan määrää. Hyppy- ja voimatestit suoritettiin ilman kenkiä.

8.2.2 Kuormitukset

Kuormitukset suoritettiin joukkueiden omilla harjoitussaleilla sisätiloissa. Mittauksia tehtiin kahdella eri voimistelusalilla, joissa molemmissa oli alustana voimistelumatto sekä sen alla joustava kanveesi. Kuormituskertoja oli kolme: ensimmäisellä kerralla kuormituksena oli plyometrinen nopeusvoimaharjoitus, toisella kestävyysharjoitus ja kolmannella lajinomainen harjoitus (kuva 10). Kuormitusten rakenne oli jokaisella mittauskerralla sama (kuva 11). Plyometrinen ja kestävyyskuormitus suoritettiin kengät jalassa ja lajinomainen harjoitus ilman kenkiä. Kuormitusten liikkeet ja mittauskerran aikataulu käytiin ennen lämmittelyn aloittamista

läpi yhdessä tutkittavien kanssa. Kuormituskertaa edelsi vapaapäivä joukkueen yhteisistä harjoituksista. Kuormituksia varten joukkue (6–10 voimistelijaa) jaettiin kolmeen ryhmään, jotka aloittivat lämmittelyn 10 minuutin välein ja suorittivat siten koko mittauskerran porrastetusti. Ryhmiin jako tehtiin, jotta palautukset kuormitusten ja mittausten välillä eivät venyneet tutkitavilla liian pitkiksi, sillä vain yksi tutkittava pystyi kerrallaan olemaan mitattavana kevennyshypyssä, voimamittauksessa ja suorittamassa harppahyppyä. Kuormituskerran kokonaiskesto oli yhdelle tutkittavalle 2 tuntia ja 10 minuuttia.



KUVA 11. Kuormituskertojen rakenne.

Kuormituskerran alkuun suoritettiin 15 minuuttia kestävä lämmittely, joka sisälsi viisi minuuttia juoksua, viisi minuuttia liikkuen tehtävää lämmittelyä ja viisi minuuttia omavalintaisia dynaamisia venytyksiä alaraajojen lihaksille. Lämmittely tehtiin ilman kenkiä. Lämmittelyn jälkeen suoritettiin ensimmäiset mittaukset. Mittaukset suoritettiin aina samassa järjestyksessä: kevennyshyppy, laktaatti, isometrinen maksimivoima ja harppahyppy. Kevennyshyppy suori-

tettiin aina välittömästi edellisen kuormituksen/lämmittelyn loputtua, laktaattipitoisuudet mitattiin sormenpääverinäytteellä 2 ja 4 minuuttia kuormituksen jälkeen. Voimamittaukset suoritettiin 4–6 minuutin sisällä kuormituksen loppumisesta ja harppahyppy suoritettiin 6–7 minuuttia kuormituksen loppumisen jälkeen.

Plyometrinen kuormitus. Ensimmäisellä mittauskerralla kuormituksena suoritettiin plyometrinen nopeusvoimaharjoitus. Kuormitus sisälsi kuusi erilaista hyppyharjoitetta (taulukko 3), joissa ponnistuksia tehtiin niin horisontaali- kuin vertikaalisuuntaan ja uni- sekä bilateraalisesti. Yhteensä ponnistuksia harjoituksessa oli 201. Palautusaika sarjojen sekä liikkeiden välillä oli yksi minuutti. Liikkeet ohjeistettiin ennen kuormituskerran aloitusta tutkittaville. Korokkeena liikkeissä käytettiin 24,5 cm korkeaa step-lautaa.

TAULUKKO 3. Plyometrinen nopeusvoimaharjoitus.

Liike	Toistot	Sarjat
Vuoroloikka (lähtö tasajaloin ponnistuksesta)	8	3
Yhden jalan kinkka (palautus vasta, kun liike on suoritettu molemmilla jaloilla)	6/jalka	3
Pohjehyppy	15	3
Yhden jalan hyppy korokkeelle (palautus vasta, kun liike on suoritettu molemmilla jaloilla)	6/jalka	3
Pudotushyppy korokkeelta	10	3
Jännehypyt	10	3

Kestävyyskuormitus. Toisen mittauskerran kuormituksen oli kestävyysharjoitus. Harjoitus suoritettiin juoksemalla 13 m matkaa edestakaisin. Kuormitus toteutettiin intervallina, jossa juoksua oli 4 minuuttia ja palautusta tämän jälkeen 1 min. Intervallia toistettiin kuormituksessa viisi kertaa. Tutkittavien sykkeen tuli juoksun aikana olla noin 170 bpm (noin 80 % HR_{max}), jolloin vauhti oli jokaiselle tutkittavalle yksilöllinen.

Lajinomainen kuormitus. Viimeisellä mittauskerralla kuormituksena oli lajinomainen kuormitus, jossa suoritettiin joukkuevoimistelulle tyypillisiä liikkeitä ja harjoitteita liikkuen (liite 1). Yhtä liikettä suoritettiin aina 13 m matka. Harjoitus sisälsi pieniä ponnistuksia (hyppelyitä), askelluksia ja askelikkoja, vartalonliikkeitä sekä ketteryyttä ja koordinaatiota vaativia liikkeitä. Kaikki tutkittavat eivät aloittaneet lajinomaista kuormitusta samoista liikkeistä, johtuen ryhmien porrastuksesta, vaan 3–4 tutkittavan ryhmät liittyivät harjoitukseen mukaan siinä vaiheessa, kun olivat ensimmäisistä mittauksistaan valmiina. Kaikki tutkittavat kuitenkin suorittivat koko harjoituksen ja jokaisen sen liikkeen.

Lajiharjoitus. Jokaisella mittauskerralla kuormituksen ja sitä seuranneiden mittausten jälkeen suoritettiin lajiharjoitus, joka oli rakenteeltaan samanlainen jokaisella mittauskerralla. Lajiharjoituksen alkuun tutkittavat suorittivat 10 minuuttia omatoimista kilpailuohjelman harjoittelua käymällä läpi kilpailuohjelman liikkeitä. Valmentajat antoivat urheilijoilleen palautetta sekä tarvittaessa ohjeistivat tutkittavia käymään yhdessä joitakin ohjelman kohtia musiikilla tai laskuilla läpi. Omatoimisen harjoittelun jälkeen tutkittavat suorittivat yhden kokonaisen ohjelmasuorituksen, jonka kesto on noin 2 min 45 s. Jokaisella tutkimuksessa mukana olevalla joukkueella oli oma kilpailuohjelma, jota he harjoittelivat. Ohjelmien sisältämät liikkeet ja sen intensiteetti eivät siis kaikilla tutkittavilla olleet täysin identtiset. Koska mittauskerran suorittaminen oli porrastettu ryhmiin eivätkä kaikki tutkittavat suorittaneet kokonaisia ohjelmasuorituksia samaan aikaan, ei kilpailuohjelmista pystytty tekemään kaikkia yhteistyöliikkeitä kuten nostoja, millä on pieni vaikutus kuormitukseen. Ensimmäisen kokonaisen jälkeen seurasi jälleen omatoiminen viiden minuutin harjoittelupätkä, jonka jälkeen tutkittavat suorittivat toisen kokonaisen ohjelmasuorituksen. Tämän suorituksen jälkeen tutkittavat suorittivat samat mittaukset kuin lämmittelyn ja kuormituksen jälkeen. Mittausten jälkeen seurasi uudestaan toinen samanlainen pätkä lajiharjoitusta, joka päättyi jälleen kokonaiseen ohjelmasuoritukseen ja sitä seuraaviin mittauksiin.

8.2.3 Palautumismittaus

Palautumismittaukset suoritettiin aina vuorokausi kuormituskerran jälkeen joukkueiden harjoitussaleissa samoissa olosuhteissa kuin kuormitusmittauksetkin. Palautumismittauksen alkuun

tutkittavat suorittivat saman 15 min lämmittelyn, jonka he tekivät myös kuormituskerroilla. Lämmittelyn jälkeen tutkittavien suorituskykyä mitattiin samoilla mittauksilla kuin kuormituskerroilla, mutta laktaattipitoisuutta ei palautumiskerralla mitattu ollenkaan. Myös palautumismittaus suoritettiin porrastetusti jakamalla joukkue kolmeen ryhmään. Fyysistä aktiivisuutta noin 24 tunnin palautumisajan aikana ei tässä tutkimuksessa kontrolloitu.

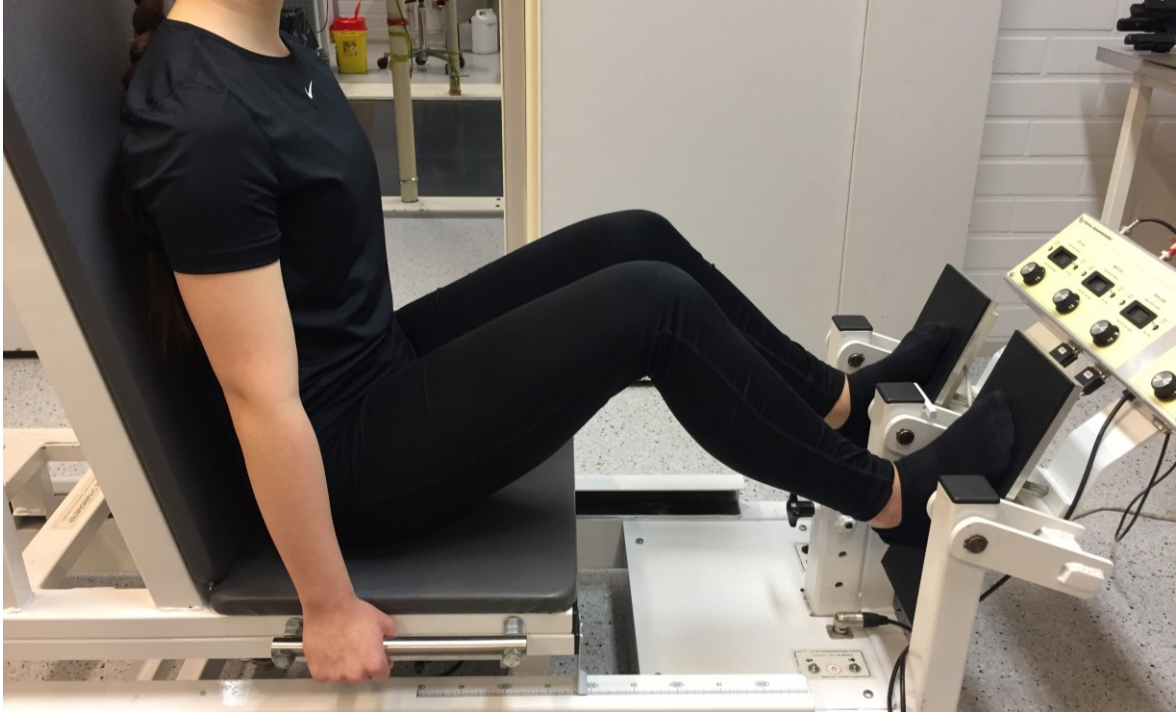
8.3 Mittaukset ja mittaustulosten analysointi

Kaikki mittaukset suoritettiin ilman kenkiä. Ohjeistus mittauksiin pyrittiin pitämään vakiona jokaisella mittauskerralla. Suoritustekniikkaa kontrolloitiin mittausten aikana, eikä virheellisiä suorituksia laskettu mukaan.

Esikevennyshyppy. Esikevennyshyppy suoritettiin kontaktimatolla (Jyväskylän Yliopisto, Suomi), joka mittasi hypyn lentoajan. Tutkittavia ohjeistettiin suorittamaan kevennys noin 90° polvikulmaan, jota seurasi maksimaalinen ponnistus ylöspäin. Polvikulmaa ei mitattu erikseen, vaan tutkittavat suorittivat ponnistuksen heille luonnollisesta kulmasta. Jalkapohjien tuli pysyä kiinni kontaktimatossa koko esikevennyksen ajan. Alastulossa tutkittavien tuli laskeutua päkiät edellä suorille jaloille. Jos laskeutuminen tapahtui selkeästi kyykistyneeseen asentoon, ei suoritusta hyväksytty. Kädet olivat kevennyshypyssä vakioituina vyötärölle koko suorituksen ajan. Alkumittauksissa kevennyshypyissä tutkittava sai suorittaa niin monta hyppyä, että tulos ei enää parantunut. Kuormitus- sekä palautumismittauksissa kevennyshyppy suoritettiin aina kaksi kertaa yhdessä mittaustilanteessa. Hyppyjen välinen palautusaika oli noin 30 s. Vertikaalilihypyn nousukorkeus (h) saatiin laskettua lentoajasta (t) kaavalla $h=1/8*gt^2$, jossa g on putoamiskiihtyvyyden arvo 9,81 m/s² (Bosco ym. 1983).

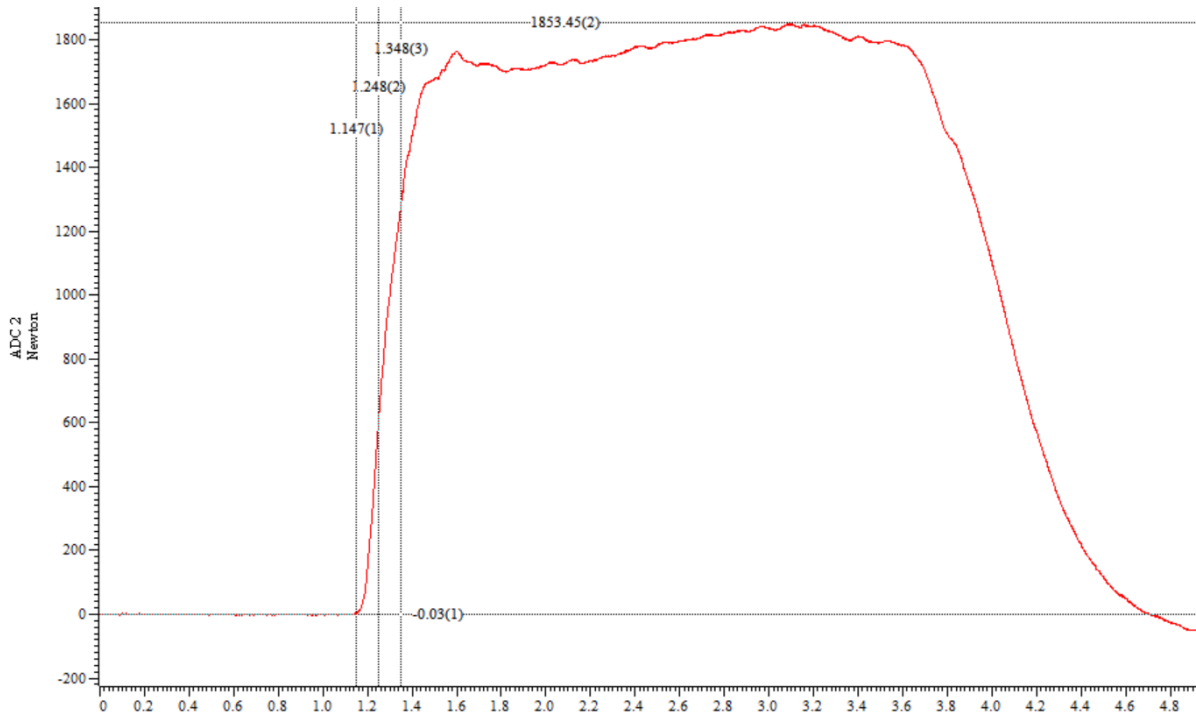
Alaraajojen ojentajalihasten maksimaalinen isometrinen voima. Isometristä alaraajojen ojentajien voimaa mitattiin voimadynamometrillä (Jyväskylän Yliopisto, Suomi). Tutkittava istui selkä suorana voimadynamometrin penkissä ja polvikulma säädettiin goniometrin avulla 107° (kuva 12). Voimanmittauksessa tutkittavan tuli pitää istuinluut koko ajan kiinni penkissä samalla, kun tuotti mahdollisimman nopeasti mahdollisimman suuren voiman alaraajoista työntäen jalkapohjia voimantuottoa mittaavia levyjä vasten. Maksimaalista voimaa tuli ylläpitää

noin kolmen sekunnin ajan. Tutkittavat saivat suorituksen aikana pitää kiinni penkin vieressä olevista kahvoista.



KUVA 12. Alaraajojen ojentajalihasten isometrisen maksimivoiman mittaus.

Isometrisen voimamittauksen data kerättiin voimadynamometriin liitetyn tietokoneen Signal 4.11-ohjelmistolla (Cambridge Electronic Design Ltd., Iso-Britannia). Voiman nollakohta määritettiin kohtaan, jossa tutkittava piti jalkojaan voimaa mittaavilla levyillä ennen voimantuoton alkua. Samalla ohjelmistolla voima-aika-käyristä määritettiin lihassupistuksen aikana tuotettu maksimivoima sekä 100 ms aikana tuotetun voiman suuruus (N) (kuva 13).



KUVA 13. Voima-aika-kuvaaja jalkojen ojentajalihasten maksimaalisesta isometrisestä mittauksesta. Vertikaalikursori 1 osoittaa voimantuoton alkamisen kohdan. Kursorit 2 ja 3 ovat 100 ms ja 200 ms kohdilla. Horisontaalikursorit ovat nollakohdassa sekä tuotetun maksimivoiman kohdalla.

Harppahyppy. Harppa on joukkuevoimistelulle tyypillinen lajihyppy (kuva 14). Mittauksissa harppa suoritettiin lajinomaisella vauhdinotolla, joka oli vakioitu kaikille tutkittaville samantapaiseksi. Hypyssä vauhdinoton ja ponnistavan askeleen jälkeen hypyn etujalka tuotiin koukun kautta potkaisten maksimimuotoon. Tutkittavat saivat suorittaa hypyn haluamallaan puolella niin, että puoli pysyi vakiona kaikissa mittauksissa. Koska tutkittavilla oli usean vuoden tausta joukkuevoimistelusta, ei harppahyppyä erikseen harjoiteltu ennen mittauksia.



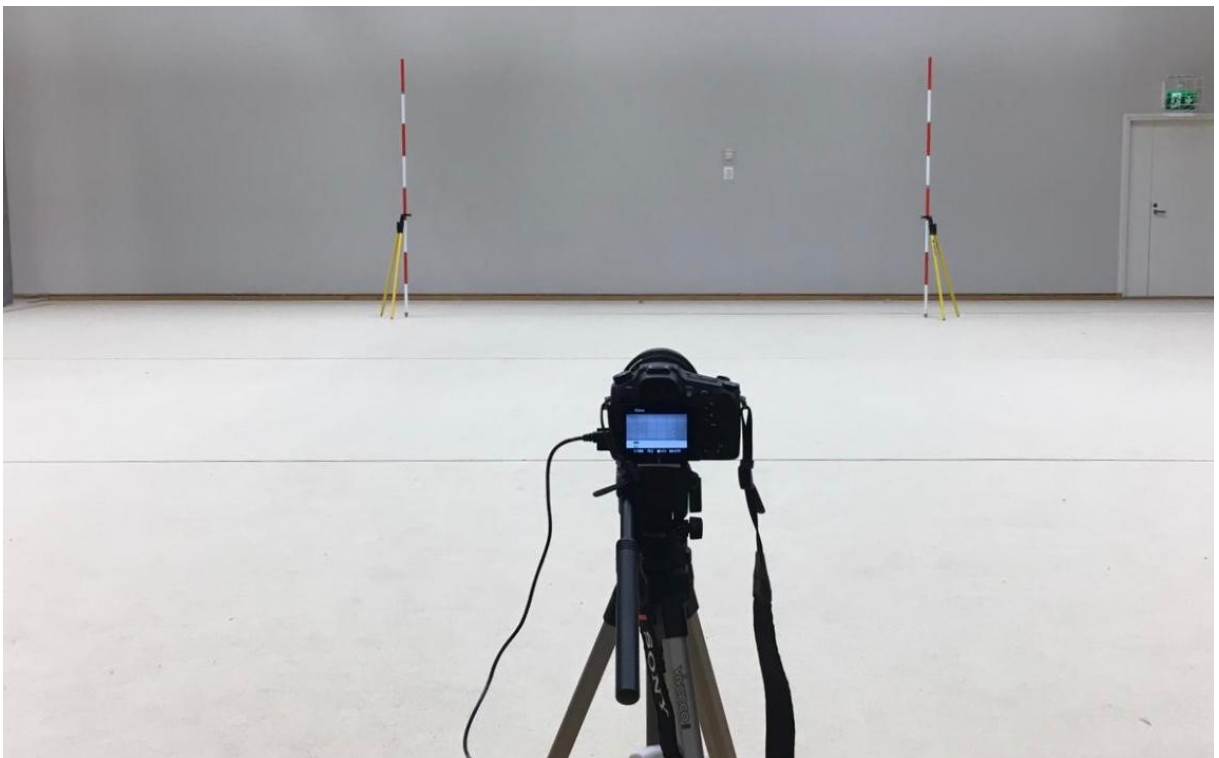
KUVA 14. Harppahypyn ponnistusvaihe ja maksimaalinen muoto ilmalennon aikana.

Ennen harppahypyn mittauksia tutkittaville laitettiin valkoiset noin 2 cm x 2 cm kokoiset markkerit nivelpisteisiin kuvan 15 mukaisesti. Markkereita oli yhteensä kahdeksan. Markkerit asetettiin tutkittaville eri puolille kehoa sen mukaan, kummalla jalalla he suorittivat hypyn. Ponnistavan jalan markkerit asetettiin viidennen metatarsaalin distaalisen pään lateraalipuolelle, lateraalimalleoliin, reisiluun ulkosivunastaan sekä reisiluun päähän. Hypyn vapaan jalan markkerit asetettiin ensimmäisen metatarsaalin distaalisen pään mediaalipuolelle, mediaalimalleoliin ja reisiluun sisäsivunastaan. Lisäksi yksi markkeri laitettiin ponnistavan jalan puoleiseen suureen olkakyhmyyn.



KUVA 15. Markkereiden paikat (mukailtu Arkko 2010).

Harppahyppyä videoitiin Sony DSC-RX 10 Mark III -kameralla (Sony Corporation, Japani). Kuvanopeus oli 100 kuvaa sekunnissa. Videokamera oli jalustalla ja se asetettiin kohtisuoraan kuvattavaa hyppyä kohti. Hyppy suoritettiin niin, että tutkittavan ponnistava jalka oli kameran puolella. Videon kalibrointi suoritettiin asettamalla 245,5 cm pitkät kepit viiden metrin päähän toisistaan. Viiden metrin matka merkittiin alustaan pienillä merkeillä. Tutkittavat hyppäsivät harppahyppyn merkkien välissä ja niiden tasossa. Kepit mitattiin vatupassin avulla tarkasti pystysuoraan. Kalibrointitilanteesta kuvattiin erillinen video. Kameran sijainti ja zoomaus pidettiin vakiona koko mittaustilanteen ajan. Kuvausasetelma on nähtävissä kuvassa 16.



KUVA 16. Harppahyppyn videokuvauksen asetelma.

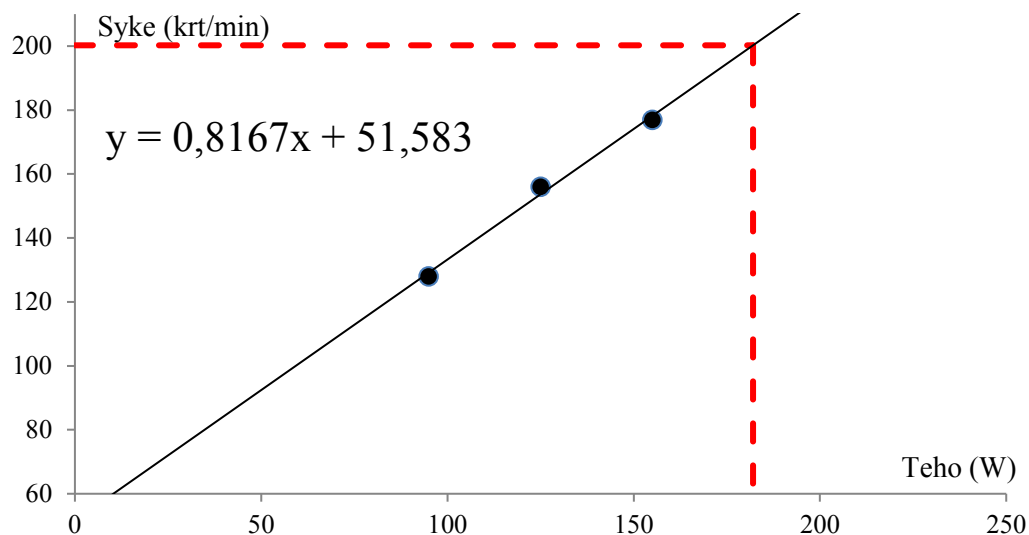
Hypyn analyysiin käytettiin Vicon Motus 10.1. -ohjelmistoa (Vicon Motion Systems Ltd., Iso-Britannia), jonka avulla videokuvatuille hypyille tehtiin liikeanalyysi. Liikeanalyysillä selvitettiin harppahyppyn nousukorkeus, lentoaika sekä ponnistuksen kontaktiaika. Kehon massakeskipisteen nousukorkeus (h) hypyn aikana määritettiin laskemalla kehon massakeskipisteen verti-

kaalisuuntainen lähtönopeus (v) ponnistuksessa kaavalla $h=v^2/2g$ (Moir 2008). Vertikaalisuuntainen lähtönopeus määritettiin viiden kuvan keskiarvona ponnistuksen irtoamishetkeltä. Kehon massakeskipisteen määrittämisessä käytettiin muokattua Zatriorsky-Seluyanov -segmenttimalia (de Leva 1996). Koska hypyssä ponnistuksen aikana vapaan jalan puoleinen käsi jäi piiloon vartalon taakse, yhdistettiin tämän käden segmenttien massat ponnistavan jalan puoleisen käden vastaaviin segmentteihin. Vertikaalisuunnassa molempien käsien liike on samankaltainen. Signaalien suodatuksessa käytettiin Butterworth-suodatinta rajataajuudella 12 Hz.

Harppahypystä määritettiin lentoaika sekä ponnistuksen kontaktiaika laskemalla kuvista, kuinka kauan kumpikin vaihe vei aikaa. Ponnistuksen kontaktiaika laskettiin siitä hetkestä, kun tutkittavan ponnistava jalka osui maahan siihen asti, kunnes se irtosi. Lentoaika määritettiin alkaneeksi samalla hetkellä, kun ponnistuksen kontaktiaika loppui, ja se kesti aina siihen hetkeen saakka, kunnes tutkittava osui takaisin alustaan ilmalennon päätteeksi. Kuvanopeuden ollessa 100 kuvaa/sekunti mittaustarkkuus oli 0,01 s.

WHO-polukupyöräergometritesti. Polkupyöräergometrillä (Monark LC4, Monark Exercise, Ruotsi) suoritettussa submaksimaalisessa kestävyystestissä arvioitiin tutkittavien VO_{2max} . Testi koostui neljästä neljän minuutin mittaisesta portaasta (40–80 % maksimaalisesta aerobisesta tehosta), jossa jokaisen kuormaportaan päätteeksi nostettiin vastusta (Keskinen ym. 2007). Polkemisfrekvenssi oli koko testin ajan 60 rpm ja testi suoritettiin istuen satulalla. Testissä käytettiin non-exercise mallia, jossa tutkittavan sukupuolen, iän, pituuden, painon, liikunta-aktiivisuuden (0–7) ja maksimisykkeen (iänmukainen $(210-(ikä*0,65))$ ellei tiedossa) avulla arvioitiin VO_{2max} . Arvioidun VO_{2max} avulla määritettiin automaattisesti polkemistehot jokaiselle kuormaportalle (Keskinen ym. 2007). Polkemistehojen lisäksi taustamuuttujien ja arvioidun VO_{2max} avulla jokaiselle kuormaportalle määritettiin tavoitesyke, millä tasolla sykkeen tuli suurin piirtein kuormaportaan lopussa olla. Testissä jokaisen kuormaportaan lopusta mitattiin syke (käytetty mittari PolarV800) portaan viimeisen 30 sekunnin aikana ja kysyttiin RPE (6–20 asteikko) viimeisen 15 sekunnin aikana. Jos kuormaportaan lopussa tutkittavan syke tai RPE oli merkittävästi tavoitetta matalammalla tai korkeammalla, nostettiin tai laskettiin seuraavan kuormaportaan vastusta. Testin päätyttyä tutkittava polki loppuverryttelynä noin 4 minuuttia aloituskuormalla.

Submaksimaalisissa epäsuorissa kestävyystesteissä testin tulosten analysointi perustuu oletukseen, että syke kiihtyy lähes lineaarisesti työkuormituksen ja hapenkulutuksen kasvaessa (Keskinen ym. 2007). Mittauksissa käytettiin valmista Excel-kaavapohjaa, joka automaattisesti muodosti kuvaajan (kuva 17) polkemistehon sekä kuormaportaan lopusta mitatun sykkeen avulla. Regressioyhtälössä huomioitiin toisen, kolmannen ja neljännen kuormaportaan sykkeet ja polkemisteho, ensimmäinen kuormaportas oli verryttelyä. Sijoittamalla saatuun regressioyhtälöön iän mukaan arvioitu tai mitattu maksimisyke, saadaan kuvaajasta luettua maksimaalinen polkemisteho. Sijoittamalla maksimaalinen polkemisteho (P_{\max}) kaavaan $VO_{2\max} = (12,35 * P_{\max}/\text{kehon massa}) + 3,5$, saatiin laskettua arvioitu $VO_{2\max}$.



KUVA 17. Esimerkkikuva mitatusta sykkeestä sekä polkemistehosta WHO:n submaksimaalisessa polkupyöräergometritestissä.

8.4 Tilastollinen analyysi

Tuloksina käytettiin jokaisen mittauspisteen parasta yksittäistä tulosta. Tulosten analysointivaiheessa tuloksista on jätetty pois selkeästi keskiarvosta suuresti eroavat ja siten mahdollisesti virheelliset yksittäiset tulokset. Tulosten tilastollinen analyysi suoritettiin Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA) ja IBM SPSS versio 26 (IBM, Inc., Chicago, Illinois, USA) -ohjelmilla.

Ennen tilastollista analysointia Shapiro-Wilk -testillä tarkistettiin datan normaalijakautuneisuus, mikä katsottiin ensimmäisestä mittauskerrasta. Puberteetti ja postpuberteetti ryhmien välisten erojen määrittämiseen käytettiin riippumattomien otosten t-testiä. Eri mittaustilanteiden (post lämmittely, post kuormitus, mid lajiharjoitus, post lajiharjoitus, palautumismittaus) ja eri mittauskertojen väliset erot tuloksissa selvitettiin toistomittausten varianssianalyysillä. Analyysissä käytettiin parivertailujen laskemiseen Bonferroni-korjausta, jossa tilastollisen merkittävyyden taso $p = 0,05$ on jaettu testien määrällä ja tätä laskettua arvoa on käytetty jokaisessa yksittäisessä testissä.

9 TULOKSET

Puberteetti-iän ohittaneilla kuukautiset olivat alkaneet keskimäärin 13,4 vuoden iässä. Puberteetti- ja postpuberteetti-ikäiset erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan kehon painossa (50,2 kg vrt. 56,5 kg, $p=0,022$), rasvaprosentissa (15,2 % vrt. 20,5 %, $p=0,002$), iässä (14,5 vrt. 15,7, $p=0,023$) ja absoluuttisessa maksimaalisessa hapenottokyvyssä (2,3 l/min vrt. 2,6 l/min, $p=0,038$) (taulukko 2, sivu 32). Ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja pituudessa, luurankoli hasten massassa, suhteellisessa maksimaalisessa hapenottokyvyssä, absoluuttisessa maksimivoimassa eikä kehon painoon suhteutetussa maksimivoimassa. Myöskään harjoitusvuosien määrässä ei ollut eroa ryhmien välillä. Taulukossa 4 on esitettyä tutkittavien hapenottokyky, maksimivoima sekä harjoitusvuodet.

TAULUKKO 4. Tutkittavien maksimaalinen hapenottokyky, isometrinen maksimivoima sekä harjoitusvuodet lajin parissa. * = tilastollisesti merkitsevä ero, $p<0,05$.

	Kaikki	Puberteetti	Postpuberteetti
VO _{2max} absoluuttinen (l/min)	2,5 ± 0,4	2,3 ± 0,3	2,6 ± 0,4
VO _{2max} kehon painoon suhteutettu (ml/kg/min)	47,1 ± 6,4	48,1 ± 6,8	46,5 ± 6,3
Isometrinen maksimivoima (N)	2246 ± 668	2152 ± 537	2311 ± 756
Isometrinen maksimivoima/kehon paino (N/kg)	41,7 ± 10,9	43,4 ± 10,6	40,6 ± 11,3
Harjoitusvuodet	8,9 ± 2,1	8,9 ± 2,3	8,8 ± 2,1

9.1 Plyometrinen kuormituskerta

Plyometrinen kuormitus heikensi tilastollisesti merkitsevästi isometristä maksimivoimaa koko ryhmällä ($p=0,031$) (taulukko 5). Myös harppahypyn korkeus laski tilastollisesti merkitsevästi

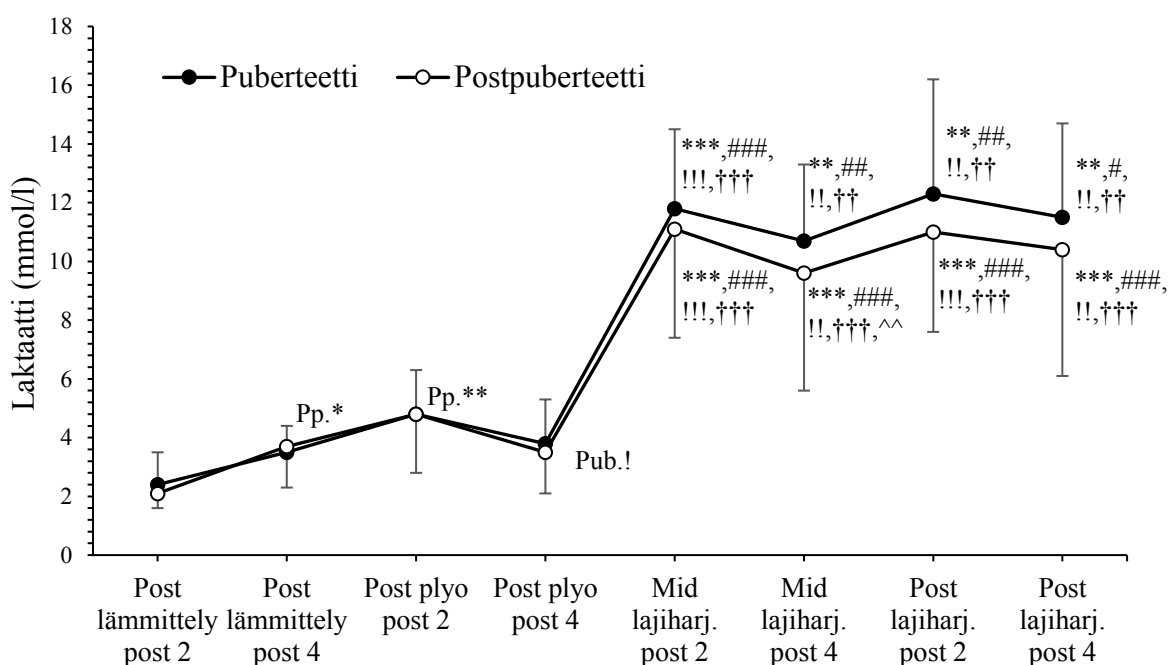
koko ryhmällä plyometrisen kuormituksen seurauksena ($p=0,015$). Lajiharjoituksen puolivälissä (mid lajiharjoitus) kevennyshyppy laski koko ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi verrattuna lämmittelyn jälkeiseen tulokseen ($p=0,011$). Isometrinen maksimivoima laski lähtötilanteeseen verrattuna lajiharjoituksen puolivälissä postpuberteettiryhmällä ($p=0,006$) sekä koko ryhmällä ($p=0,001$) samoin kuin 100 ms aikana tuotettu voima laski merkitsevästi lajiharjoituksen puoliväliin postpuberteettiryhmällä ($p=0,040$) ja koko ryhmällä ($p=0,038$). Kevennyshypyn korkeus koko ryhmällä oli myös lajiharjoituksen lopussa (post lajiharjoitus) tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin lämmittelyn jälkeen ($p=0,030$). Puberteettiryhmällä lajiharjoituksen lopun kevennyshyppy oli merkitsevästi matalampi kuin plyometrisen kuormituksen jälkeen ($p=0,020$). Isometrinen maksimivoima oli lajiharjoituksen lopussa tilastollisesti merkitsevästi korkeampi kuin lajiharjoituksen puolivälissä postpuberteetti ($p=0,042$) ja koko ryhmällä ($p=0,007$). Harppahypyn korkeus oli lajiharjoituksen lopussa merkitsevästi korkeampi kuin kuormituksen (postpuberteetti $p=0,027$, kaikki $p=0,004$) tai lajiharjoituksen puolivälin jälkeen (postpuberteetti $p=0,009$). Palautumismittauksessa harpan ponnistuksen kesto oli postpuberteetti ($p=0,003$) sekä koko ryhmällä ($p=0,001$) merkitsevästi pidempi kuin lähtötilanteessa.

Ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitseviä eroja post lämmittelyn 100 ms aikana tuotetussa voimassa ($p=0,007$) sekä harpan kontaktiajoissa kuormituksen jälkeen ($p=0,034$), lajiharjoituksen puolivälissä ($p=0,036$), lajiharjoituksen lopussa ($p=0,049$) sekä palautumismittauksessa ($p=0,044$). Muissa muuttujissa ei ryhmien välisiä eroja ollut.

TAULUKKO 5. Mitatut muuttujat plyometrisellä kuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna post lämmittelyyn # = verrattuna post kuormitukseen, ! = verrattuna mid lajiharjoitukseen, † = verrattuna post lajiharjoitukseen, ^ = ero puberteetti ja postpuberteetti ryhmien välillä. */#!/†/^ = p<0,05, **/##/!!/^ = p<0,01, !!! = p<0,001. Puberteetti n=11, postpuberteetti n=15, kaikki n =26.

Muuttuja	Post lämmittely	Post plyometrisen kuormitus	Mid lajiharjoitus	Post lajiharjoitus	Palautumisaika post 24 h
CMJ (cm)					
Puberteetti	35,9 ± 4,0	35,5 ± 3,9	33,3 ± 4,0	31,6 ± 4,5 #	35,2 ± 3,4 †
Postpuberteetti	33,0 ± 3,3	32,7 ± 3,8	30,3 ± 4,5	32,4 ± 3,2	32,8 ± 3,7
Kaikki	34,2 ± 3,8	33,9 ± 4,0	31,6 ± 4,5 *	32,1 ± 3,7 *	33,8 ± 3,7 !
MVC (N)					
Puberteetti	1857 ± 497	1747 ± 457	1683 ± 355	1796 ± 460	1894 ± 502
Postpuberteetti	1997 ± 667	1835 ± 712	1729 ± 580 **	1867 ± 634 !	1979 ± 663 #!!
Kaikki	1938 ± 594	1798 ± 608 *	1710 ± 489 **	1837 ± 558 !!	1943 ± 590 #!!!
100 ms voima (N)					
Puberteetti	685 ± 195	732 ± 247	650 ± 191	689 ± 189	704 ± 253
Postpuberteetti	992 ± 305	839 ± 336	742 ± 317 *	822 ± 312	913 ± 342 !
Kaikki	862 ± 302	794 ± 301	703 ± 270 *	766 ± 271	824 ± 320
Harppa ponnistuksen kesto (ms)					
Puberteetti	201 ± 17	203 ± 20	198 ± 20	199 ± 18	209 ± 15
Postpuberteetti	211 ± 19	219 ± 28	214 ± 16	214 ± 19	223 ± 19 **!
Kaikki	207 ± 18	212 ± 20	207 ± 19	207 ± 19	217 ± 18 **!!
Harppa lentoaika (ms)					
Puberteetti	485 ± 32	482 ± 37	479 ± 29	480 ± 31	484 ± 31
Postpuberteetti	481 ± 26	468 ± 26	471 ± 25	481 ± 24	484 ± 28
Kaikki	482 ± 28	474 ± 31	475 ± 27	480 ± 26	484 ± 27
Harppa korkeus (cm)					
Puberteetti	36,5 ± 5,6	32,2 ± 8,8	36,3 ± 7,5	37,6 ± 6,6	30,4 ± 6,7
Postpuberteetti	37,4 ± 6,9	34,7 ± 6,2	35,2 ± 4,9	38,6 ± 4,4 #!!	34,4 ± 6,0
Kaikki	37,0 ± 6,2	33,7 ± 7,2 *	35,6 ± 5,8	38,2 ± 5,2 ##	32,8 ± 6,4 †

Laktaattipitoisuudet olivat hyvin samankaltaisia plyometrisellä kuormituskerralla molemmilla ryhmillä eikä niissä havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä (kuva 18). Lajiharjoituksen kaikki laktaatit olivat molemmilla ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi korkeampia kuin lämmittelyn tai plyometrisen kuormituksen jälkeiset laktaattipitoisuudet. Postpuberteetti-ryhmällä plyometrisen kuormituksen jälkeinen post 2 laktaatti olivat merkitsevästi ($p=0,038$) korkeampi kuin lämmittelyn post 2. Puberteetti-ryhmällä laktaattipitoisuus laski tilastollisesti merkitsevästi ($p=0,010$) kahdessa minuutissa plyometrisen kuormituksen post 2 ja post 4 välillä. Postpuberteetti-ryhmällä taas lajiharjoituksen puolivälin laktaatti laski merkitsevästi ($p=0,003$) post 2 laktaatista post 4 laktaattiin.



KUVA 18. Laktaatit plyometrisellä kuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna lämmittelyn post 2, # = verrattuna lämmittelyn post 4, ! = verrattuna kuormituksen post 2, † = verrattuna kuormituksen post 4, ^ = verrattuna lajiharjoituksen puolivälin post 2. */#!/ = $p<0,05$, **/###/!!/††/^ = $p<0,01$, ***/####/!!!/††† = $p<0,001$. Pp. = postpuberteetti, pub. = puberteetti.

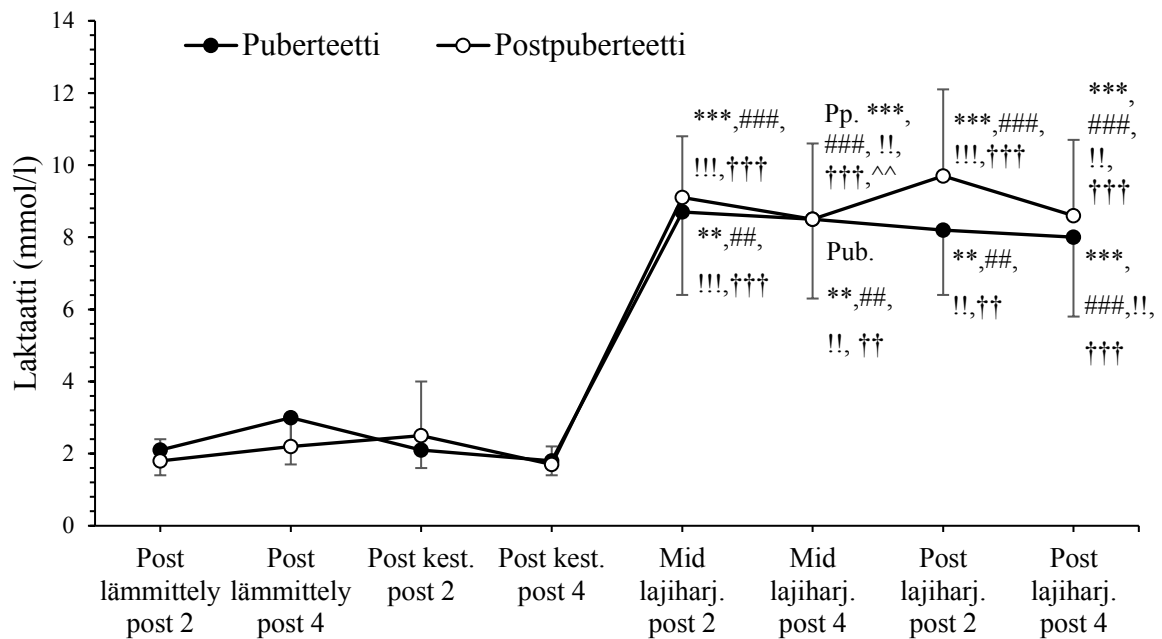
9.2 Kestävyyskuormituskerta

Kestävyyskuormituksen jälkeen puberteettiryhmän harpan lentoaika oli tilastollisesti merkitsevästi lyhempi kuin lämmittelyn jälkeen ($p=0,032$) (taulukko 6). Harpan korkeus oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kestävyyskuormituksen jälkeen puberteetti- ($p=0,010$) ja postpuberteettiryhmillä ($p=0,004$) sekä koko ryhmällä ($p=0,000$) verrattuna lämmittelyn jälkeiseen arvoon. Lajiharjoituksen puolivälin kevennyshypyn korkeus oli koko ryhmällä merkitsevästi matalampi kuin lämmittelyn ($p=0,018$) tai kestävyyskuormituksen ($p=0,022$) jälkeen. Harpan korkeus oli lajiharjoituksen puolivälissä merkitsevästi matalampi lähtötasoon verrattuna postpuberteettiryhmällä ($p=0,003$) ja koko ryhmällä ($p=0,000$). Lajiharjoituksen lopussa 100 ms aikana tuotettu voima oli lämmittelyn jälkeiseen arvoon verrattuna merkitsevästi matalampi postpuberteettiryhmällä ($p=0,036$) ja koko ryhmällä ($p=0,039$). Myös lajiharjoituksen lopussa harpan korkeus oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin lämmittelyn jälkeen puberteetti- ($p=0,050$) ja postpuberteettiryhmillä ($p=0,031$) sekä koko ryhmällä ($p=0,000$). Lämmittelyn jälkeisiin arvoihin verrattuna palautumismittauksen arvoissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero lämmittelyn jälkeisessä 100 ms aikana tuotetussa voimassa ($p=0,033$).

Myös kestävyyskuormituskerran laktaatit olivat molemmilla ryhmillä samankaltaiset eikä tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä ollut (kuva 19). Laktaattipitoisuudet nousivat lajiharjoituksen aikana merkitsevästi korkeammalle lämmittelyn ja kestävyyskuormituksen jälkeisiin laktaattipitoisuuksiin verrattuna. Lämmittelyn ja kestävyyskuormituksen jälkeisissä laktaateissa ei tapahtunut tilastollisesti merkitseviä muutoksia kummallakaan ryhmällä.

TAULUKKO 6. Mitatut muuttujat kestävyyskuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna post lämmittelyyn # = verrattuna post kuormitukseen, ! = verrattuna mid lajiharjoitukseen, † = verrattuna post lajiharjoitukseen, ^ = ero puberteetti ja postpuberteetti ryhmien välillä. */#!/^ = p<0,05, **/#!/†† = p<0,01, *** = p<0,001. Puberteetti n=8, postpuberteetti n=14, kaikki n=22, palautumismittaus puberteetti n=7, postpuberteetti n=14, kaikki n=21.

Muuttuja	Post lämmittely	Post kestävyys-kuormitus	Mid lajiharjoitus	Post lajiharjoitus	Palautumismittaus post 24 h
CMJ (cm)					
Puberteetti	35,1 ± 4,7	35,6 ± 5,0	33,7 ± 5,4	35,1 ± 4,9	31,6 ± 4,2
Postpuberteetti	33,7 ± 3,6	35,8 ± 5,4	32,0 ± 2,6	32,9 ± 3,8	34,6 ± 3,9
Kaikki	34,3 ± 4,0	35,7 ± 5,1	32,7 ± 3,9 *#	33,8 ± 4,3	33,7 ± 4,1
MVC (N)					
Puberteetti	1973 ± 599	1906 ± 597	2058 ± 553	1956 ± 526	1954 ± 688
Postpuberteetti	2064 ± 741	2061 ± 736	2065 ± 760	2060 ± 789	2164 ± 763 ††
Kaikki	2034 ± 683	2009 ± 682	2063 ± 684	2025 ± 700	2101 ± 729 #
100 ms voima (N)					
Puberteetti	711 ± 244	704 ± 348	704 ± 378	672 ± 324	664 ± 269
Postpuberteetti	964 ± 252		777 ± 375	816 ± 471	721 ± 399 *
Kaikki	872 ± 273	750 ± 359	775 ± 434	703 ± 366 *	793 ± 398
Harppa ponnistuksen kesto (ms)					
Puberteetti	201 ± 16	201 ± 22	203 ± 17	204 ± 23	201 ± 17
Postpuberteetti	212 ± 17	217 ± 18	214 ± 16	215 ± 17	217 ± 18
Kaikki	208 ± 17	211 ± 21	210 ± 17	211 ± 20	212 ± 19
Harppa lentoaika (ms)					
Puberteetti	485 ± 31	470 ± 31 *	480 ± 21	476 ± 33	481 ± 23
Postpuberteetti	479 ± 28	474 ± 31	486 ± 25	482 ± 29	491 ± 28
Kaikki	481 ± 29	473 ± 30	484 ± 24#	480 ± 30	488 ± 26
Harppa korkeus (cm)					
Puberteetti	36,0 ± 6,5	28,4 ± 3,9 *	27,9 ± 1,6	29,3 ± 4,4 *	33,4 ± 4,8
Postpuberteetti	38,0 ± 6,8	31,9 ± 6,7 **	30,5 ± 4,9 **	32,3 ± 6,8 *	34,9 ± 5,2 !
Kaikki	37,2 ± 6,5	30,5 ± 5,9 ***	29,4 ± 4,1 ***	31,1 ± 6,0 ***	34,4 ± 4,9 !!



KUVA 19. Laktaatit kestävyyskuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna lämmittelyn post 2, # = verrattuna lämmittelyn post 4, ! = verrattuna kuormituksen post 2, † = verrattuna kuormituksen post 4, ^ = verrattuna lajiharjoituksen puolivälin post 2. **/###/!!!/†††/^ = $p < 0,01$, ***/###/!!!/††† = $p < 0,001$. Pp. = postpuberteetti, pub. = puberteetti.

9.3 Lajinomainen kuormituskerta

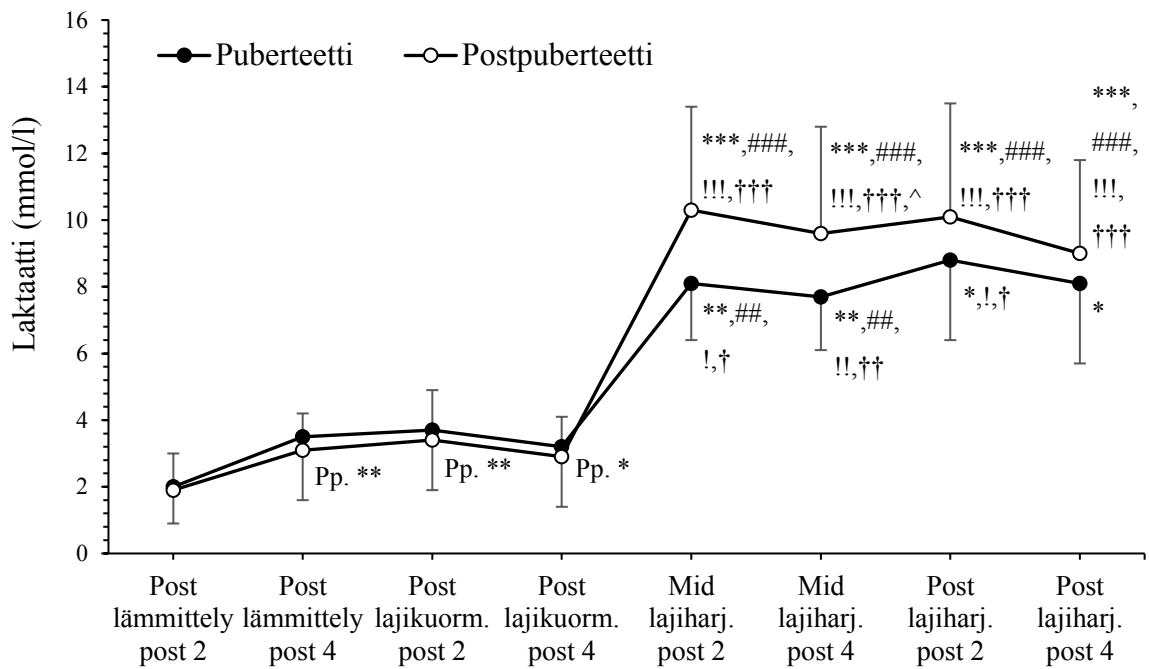
Lajinomainen kuormitus heikensi tilastollisesti merkitsevästi koko ryhmällä isometristä maksimivoimaa ($p=0,007$) sekä harpan korkeutta ($p=0,032$) (taulukko 7). Lajiharjoituksen puolivälissä 100 ms aikana tuotettu voima oli lämmittelyn jälkeiseen arvoon verrattuna tilastollisesti merkitsevästi matalampi postpuberteettiryhmällä ($p=0,045$) sekä koko ryhmällä ($p=0,002$). Lajiharjoituksen lopussa 100 ms aikana tuotettu voima oli koko ryhmällä merkitsevästi matalampi kuin lähtötilanteessa ($p=0,037$). Palautumismittauksessa harpan ponnistuksen kesto oli merkitsevästi pidempi kuin lähtötilanteessa vuorokautta aiemmin postpuberteettiryhmällä ($p=0,011$)

sekä koko ryhmällä ($p=0,041$). Isometrinen maksimivoima oli merkitsevästi korkeampi palautusmittauksessa kuin lajinomaisen kuormituksen jälkeen postpuberteettiryhmällä ($p=0,009$) sekä koko ryhmällä ($p=0,000$).

Laktaattipitoisuudet nousivat kaikissa mittauspisteissä postpuberteettiryhmällä tilastollisesti merkitsevästi lämmittelyn post 2 tulokseen verrattuna (kuva 20). Puberteettiryhmällä laktaattipitoisuudet olivat sekä lajiharjoituksen puolivälissä että sen jälkeen merkitsevästi lämmittelyn ja kuormituksen jälkeisiä laktaatteja korkeampia. Postpuberteettiryhmällä laktaattipitoisuus laski tilastollisesti merkitsevästi ($p=0,010$) lajiharjoituksen puolivälissä kahdessa minuutissa post 2 post 4 mittaukseen verrattuna. Laktaattipitoisuudet olivat myös lajinomaisella kuormituskerralla ryhmillä hyvin samanlaisia, eikä tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä ollut.

TAULUKKO 7. Mitatut muuttujat lajinomaisella kuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna post lämmittelyyn # = verrattuna post kuormitukseen, ! = verrattuna mid lajiharjoitukseen. */! = $p < 0,05$, **/### = $p < 0,01$, ### = $p < 0,001$. Puberteetti $n=8$, postpuberteetti $n=16$, kaikki $n=24$.

Muuttuja	Post lämmittely	Post lajinomainen kuormitus	Mid lajiharjoitus	Post lajiharjoitus	Palautumismittaus post 24 h
CMJ (cm)					
Puberteetti	34,9 ± 6,3	34,1 ± 4,3	34,2 ± 4,0	34,4 ± 3,8	35,7 ± 5,0
Postpuberteetti	32,4 ± 3,6	32,8 ± 3,9	31,8 ± 3,9	32,5 ± 2,7	33,9 ± 3,8
Kaikki	33,2 ± 4,7	33,2 ± 4,0	32,6 ± 4,0	33,1 ± 3,2	34,5 ± 4,2 !
MVC (N)					
Puberteetti	1912 ± 416	1817 ± 433	1761 ± 394	1829 ± 493	1967 ± 531
Postpuberteetti	2091 ± 767	2022 ± 747	1990 ± 639	2089 ± 691	2163 ± 807 ##
Kaikki	2031 ± 666	1954 ± 656 **	1914 ± 571	2003 ± 633	2098 ± 721 ###
100 ms voima (N)					
Puberteetti	675 ± 286	629 ± 265	466 ± 240	498 ± 251	570 ± 363
Postpuberteetti	861 ± 351	841 ± 313	724 ± 378 *	804 ± 388	910 ± 416 !
Kaikki	799 ± 337	770 ± 310	638 ± 356 **	702 ± 373 *	797 ± 424 !
Harppa ponnistuksen kesto (ms)					
Puberteetti	208 ± 26	211 ± 23	210 ± 24	211 ± 21	211 ± 26
Postpuberteetti	209 ± 14	213 ± 11	213 ± 16	218 ± 18	218 ± 14 *
Kaikki	208 ± 18	213 ± 16	212 ± 19	216 ± 19	216 ± 19 *
Harppa lentoaika (ms)					
Puberteetti	474 ± 23	463 ± 22	470 ± 26	480 ± 28	470 ± 28
Postpuberteetti	483 ± 31	481 ± 30	484 ± 27	483 ± 29	488 ± 31
Kaikki	480 ± 29	475 ± 28	480 ± 27	482 ± 28	482 ± 30
Harppa korkeus (cm)					
Puberteetti	35,8 ± 3,8	33,8 ± 4,7	34,3 ± 4,0	36,0 ± 4,5	33,8 ± 3,4
Postpuberteetti	37,9 ± 6,7	35,8 ± 5,3	36,6 ± 5,6	36,4 ± 5,6	36,2 ± 4,8
Kaikki	37,2 ± 5,9	35,1 ± 5,1 *	35,8 ± 5,1	36,2 ± 5,2	35,4 ± 4,4



KUVA 20. Laktaatit lajinomaisella kuormituskerralla. Merkitsevyydet: * = verrattuna lämmittelyn post 2, # = verrattuna lämmittelyn post 4, ! = verrattuna kuormituksen post 2, † = verrattuna kuormituksen post 4, ^ = verrattuna lajiharjoituksen puolivälin post 2. */!/†/^ = $p < 0,05$, **/###/!/†† = $p < 0,01$, ***/####/!!!/††† = $p < 0,001$. Pp. = postpuberteetti, pub. = puberteetti.

9.4 Kuormituskertojen väliset erot

Erot lämmittelyn jälkeisissä mitatuissa muuttujissa eri kuormituskerralla. Taulukossa 8 on lämmittelyn jälkeiset mittaustulokset kolmella eri kuormituskerralla. Lähtötilanteissa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja kuormituskertojen välillä muuten kuin laktaattipitoisuuksissa. Lämmittelyn jälkeinen post 2 laktaattipitoisuus oli puberteettiryhmällä merkitsevästi ($p=0,028$) matalampi lajinomaisella kuormituskerralla verrattuna plyometriseen kuormituskertaan. Postpuberteettiryhmällä taas lämmittelyn jälkeinen post 2 laktaatti oli kestävyyskuormituskerralla matalampi verrattuna plyometriseen kuormituskertaan ($p=0,025$) samoin kuin koko ryhmällä ($p=0,040$). Lämmittelyn jälkeinen post 4 laktaatti oli postpuberteettiryhmällä merkitsevästi matalampi kestävyyskuormituskerralla verrattuna plyometriseen ($p=0,007$) ja lajinomaiseen

($p=0,005$) kuormituskertaan. Koko ryhmän plyometrisen kuormituskerran lämmittelyn jälkeinen post 4 laktaatti oli merkitsevästi ($p=0,007$) korkeampi kuin kestävyyskuormituskerralla.

TAULUKKO 8. Lämmittelyn jälkeiset mittaustulokset eri kuormituskerroilla. Merkitsevyydet: * = plyometrinen vrt. kestävyyskuormituskerta, ! = kestävyys- vrt. lajinomainen kuormituskerta, # = plyometrinen vrt. lajinomainen kuormituskerta. */# = $p<0,05$, **/!! = $p<0,01$. Tulokset esitetty muodossa plyometrinen kuormituskerta vrt. kestävyyskuormituskerta vrt. lajinomaisen kuormituskerta.

Post Lämmittely	Puberteetti	Postpuberteetti	Kaikki
CMJ (cm)	35,9 vrt. 35,1 vrt. 34,9	33,0 vrt. 33,7 vrt. 32,4	34,2 vrt. 34,3 vrt. 33,2
MVC (N)	1857 vrt. 1973 vrt. 1912	1997 vrt. 2064 vrt. 2091	1938 vrt. 2034 vrt. 2031
Voima 100 ms (N)	685 vrt. 711 vrt. 675	992 vrt. 964 vrt. 861	862 vrt. 872 vrt. 799
Harppa ponnistuksen kesto (ms)	201 vrt. 201 vrt. 208	211 vrt. 212 vrt. 209	207 vrt. 208 vrt. 208
Harppa lentoaika (ms)	485 vrt. 485 vrt. 474	481 vrt. 479 vrt. 483	482 vrt. 481 vrt. 480
Harppa korkeus (cm)	36,5 vrt. 36,0 vrt. 35,8	37,4 vrt. 38,0 vrt. 37,9	37,0 vrt. 37,2 vrt. 37,2
Laktaatti post 2 (mmol/l)	2,4 vrt. 2,1 vrt. 2,0 #	2,1 vrt. 1,8 vrt. 1,9 *	2,2 vrt. 1,9 vrt. 2,0 *
Laktaatti post 4 (mmol/l)	3,5 vrt. 3,0 vrt. 3,5	3,7 vrt. 2,2 vrt. 3,1 **!!	3,6 vrt. 2,5 vrt. 3,2 **

Erot kuormitusten jälkeisissä mitatuissa muuttujissa eri kuormituskerroilla. Kuormituksen jälkeiset mittaustulokset eri kuormituskerroilla on esitetty taulukossa 9. MVC:n osalta plyometrisen kuormituksen jälkeiset arvot olivat matalammat kuin kestävyyskuormituksen jälkeen postpuberteettiryhmällä ($p=0,008$) ja koko ryhmällä ($p=0,043$) sekä matalammat kuin lajikuormituksen jälkeen postpuberteettiryhmällä ($p=0,015$) ja koko ryhmällä ($p=0,023$). Laktaattipitoisuus kuormituksen jälkeen post 2 oli kaikilla ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi korkeampi plyometrisen kuormituksen kuin kestävyyskuormituksen jälkeen (puberteetti $p=0,006$, postpu-

berteetti $p=0,037$, kaikki $p=0,001$). Postpuberteettiryhmällä kuormituksen jälkeinen post 4 laktaatti oli myös korkeampi plyometrisen kuormituksen kuin kestävyyskuormituksen jälkeen ($p=0,002$). Kestävyyskuormituksen jälkeinen post 4 laktaatti oli postpuberteettiryhmällä merkitsevästi matalampi kuin lajikuormituksen jälkeinen post 4 laktaatti ($p=0,003$) samoin kuin koko ryhmällä kuormituksen jälkeinen post 4 laktaatti oli kestävyyskuormituskerralla matalampi kuin plyometrisellä ($p=0,000$) tai lajinomaisella kuormituskerralla ($p=0,001$).

TAULUKKO 9. Kuormituksen jälkeiset mittaustulokset eri kuormituskerroilla. Merkitsevyydet: * = plyometrinen vrt. kestävyyskuormituskerta, ! = kestävyys- vrt. lajinomainen kuormituskerta, # = plyometrinen vrt. lajinomainen kuormituskerta. */# = $p<0,05$, **/!! = $p<0,01$, *** = $p<0,001$. Tulokset esitetty muodossa plyometrinen kuormituskerta vrt. kestävyyskuormituskerta vrt. lajinomainen kuormituskerta.

Post kuormitus	Puberteetti	Postpuberteetti	Kaikki
CMJ (cm)	35,5 vrt. 35,6 vrt. 34,1	32,7 vrt. 35,8 vrt. 32,8	33,9 vrt. 35,7 vrt. 33,2
MVC (N)	1747 vrt. 1906 vrt. 1817	1835 vrt. 2061 vrt. 2022 **#	1798 vrt. 2009 vrt. 1954 **
Voima 100 ms (N)	732 vrt. 704 vrt. 629	839 vrt. 777 vrt. 841	794 vrt. 750 vrt. 770
Harppa ponnistuksen kesto (ms)	203 vrt. 201 vrt. 211	219 vrt. 217 vrt. 213	212 vrt. 211 vrt. 213
Harppa lentoaika (ms)	482 vrt. 470 vrt. 463	468 vrt. 474 vrt. 481	474 vrt. 473 vrt. 475
Harppa korkeus (cm)	32,2 vrt. 28,4 vrt. 33,8	34,7 vrt. 31,9 vrt. 35,8	33,7 vrt. 30,5 vrt. 35,1
Laktaatti post 2 (mmol/l)	4,8 vrt. 2,1 vrt. 3,7 **	4,8 vrt. 2,5 vrt. 3,4 *	4,8 vrt. 2,3 vrt. 3,5 **
Laktaatti post 4 (mmol/l)	3,8 vrt. 1,8 vrt. 3,2	3,5 vrt. 1,7 vrt. 2,9 **!!	3,6 vrt. 1,7 vrt. 3,0 ***!!

Erot lajiharjoituksen puolivälin mittaustuloksissa eri kuormituskerroilla. MVC oli lajiharjoituksen puolivälissä matalampi plyometrisellä kuormituskerralla postpuberteettiryhmällä ja koko ryhmällä kuin kestävyys- (postpuberteetti $p=0,004$, kaikki $p=0,000$) tai lajinomaisella

kuormituskerralla (postpuberteetti $p=0,001$, kaikki $p=0,001$) (taulukko 10). Koko ryhmällä lajinomaisen kuormituskerran MVC oli matalampi kuin kestävyyskuormituskerralla ($p=0,042$). 100 ms aikana tuotettu voima oli puberteettiryhmällä sekä koko ryhmällä lajinomaisella kuormituskerralla lajiharjoituksen puolivälissä matalampi kuin plyometrisellä (puberteetti $p=0,006$, kaikki $p=0,012$). Lajinomaisella kuormituskerralla lajiharjoituksen puolivälissä 100 ms aikana tuotettu voima oli myös tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin kestävyyskuormituskerralla sekä postpuberteetti ($p=0,043$) että koko ryhmällä ($p=0,004$). Harpan lentoaika oli merkitsevästi lyhempi plyometrisellä kuormituskerralla kuin kestävyyskuormituskerralla sekä postpuberteetti ($p=0,005$) että koko ryhmällä ($p=0,012$). Kaikilla ryhmillä harpan nousukorkeus oli kestävyyskuormituskerralla lajinomaista kuormituskertaa matalampi (puberteetti $p=0,023$, postpuberteetti $p=0,026$, kaikki $p=0,000$) ja kestävyyskuormituskerran harpan korkeudet olivat merkitsevästi matalampia kuin plyometrisellä kuormituskerralla lajiharjoituksen puolivälissä postpuberteettiryhmällä ($p=0,043$) sekä koko ryhmällä ($p=0,003$). Laktaattipitoisuus oli lajiharjoituksen puolivälissä post 2 plyometrisellä kuormituskerralla merkitsevästi korkeampi verrattuna kestävyys- ($p=0,016$) tai lajinomaiseen kuormituskertaan ($p=0,042$) koko ryhmällä.

TAULUKKO 10. Lajiharjoituksen puolivälin mittaustulokset eri mittauskerroilla. Merkitsevyydet: * = plyometrinen vrt. kestävyyskuormituskerta, ! = kestävyys- vrt. lajinomainen kuormituskerta, # = plyometrinen vrt. lajinomainen kuormituskerta. */#! = p<0,05, **/###/!! = p<0,01, ***/!!! = p<0,001. Tulokset esitetty muodossa plyometrinen kuormituskerta vrt. kestävyyskuormituskerta vrt. lajinomainen kuormituskerta.

Mid lajiharjoitus	Puberteetti	Postpuberteetti	Kaikki
CMJ (cm)	33,3 vrt. 33,7 vrt. 34,2	30,3 vrt. 32,0 vrt. 31,8	31,6 vrt. 32,7 vrt. 32,6
MVC (N)	1683 vrt. 2058 vrt. 1761	1729 vrt. 2065 vrt. 1990 **##	1710 vrt. 2063 vrt. 1914 ***##!
Voima 100 ms (N)	650 vrt. 704 vrt. 466 ##	742 vrt. 816 vrt. 724 !	703 vrt. 775 vrt. 638 #!!
Harppa ponnistuksen kesto (ms)	198 vrt. 203 vrt. 210	214 vrt. 214 vrt. 213	207 vrt. 210 vrt. 212
Harppa lentoaika (ms)	479 vrt. 480 vrt. 470	471 vrt. 486 vrt. 484 **	475 vrt. 484 vrt. 480 *
Harppa korkeus (cm)	36,3 vrt. 27,9 vrt. 34,3 !	35,2 vrt. 30,5 vrt. 36,6 *!	35,6 vrt. 29,4 vrt. 35,8 ***!!!
Laktaatti post 2 (mmol/l)	11,8 vrt. 8,7 vrt. 8,1	11,1 vrt. 9,1 vrt. 10,3	11,4 vrt. 8,9 vrt. 9,7 *#
Laktaatti post 4 (mmol/l)	10,7 vrt. 8,5 vrt. 7,7	9,6 vrt. 8,5 vrt. 9,6	10,0 vrt. 8,5 vrt. 9

Erot lajiharjoituksen jälkeisissä mittaustuloksissa eri kuormituskerroilla. MVC oli postpuberteettiryhmällä sekä koko ryhmällä tilastollisesti merkitsevästi matalampi plyometrisellä kuormituskerralla lajiharjoituksen lopussa verrattuna kestävyys- (postpuberteetti p=0,049, kaikki p=0,006) tai lajinomaiseen kuormituskertaan (postpuberteetti p=0,016, kaikki p=0,019) (taulukko 11). Puberteettiryhmällä 100 ms aikana tuotettu voima oli merkitsevästi (p=0,010) matalampi lajinomaisella kuormituskerralla lajiharjoituksen lopussa verrattuna plyometriseen kuormituskertaan. Harpan ponnistuksen kesto oli merkitsevästi pidempi lajinomaisella kuormituskerralla verrattuna plyometriseen kuormituskertaan puberteettiryhmällä (p=0,024) sekä koko ryhmällä (p=0,006). Harpan korkeus oli plyometrisellä kuormituskerralla merkitsevästi korkeampi kuin kestävyys- tai lajinomaisella kuormituskerralla koko ryhmällä (p=0,001,

p=0,004) sekä postpuberteettiryhmällä (p=0,044, p=0,006). Laktaattipitoisuus oli koko ryhmän tasolla merkitsevästi korkeampi plyometrisellä kuormituskerralla verrattuna kestävyyskuormituskertaan lajiharjoituksen jälkeen post 2 (p=0,037) sekä post 4 laktaateissa (p=0,037).

TAULUKKO 11. Lajiharjoituksen jälkeiset mittaustulokset eri kuormituskerroilla. Merkitsevyydet: * = plyometrinen vrt. kestävyyskuormituskerta, # = plyometrinen vrt. lajinomainen kuormituskerta. */# = p<0,05, **/### = p<0,01. Tulokset esitetty muodossa plyometrinen kuormituskerta vrt. kestävyyskuormituskerta vrt. lajinomainen kuormituskerta.

Post lajiharjoitus	Puberteetti	Postpuberteetti	Kaikki
CMJ (cm)	31,6 vrt. 35,1 vrt. 34,3	32,4 vrt. 32,9 vrt. 32,5	32,1 vrt. 33,8 vrt. 33,1
MVC (N)	1796 vrt. 1956 vrt. 1829	1867 vrt. 2060 vrt. 2089 *#	1837 vrt. 2025 vrt. 2003 **#
Voima 100 ms (N)	689 vrt. 672 vrt. 498 #	822 vrt. 721 vrt. 804	766 vrt. 703 vrt. 702
Harppa ponnistuksen kesto (ms)	199 vrt. 204 vrt. 211 #	214 vrt. 215 vrt. 218	207 vrt. 211 vrt. 216 ##
Harppa lentoaika (ms)	480 vrt. 476 vrt. 480	481 vrt. 482 vrt. 483	480 vrt. 480 vrt. 482
Harppa korkeus (cm)	37,6 vrt. 29,3 vrt. 36,0	38,6 vrt. 32,3 vrt. 36,4 *#	38,2 vrt. 31,1 vrt. 36,2 **###
Laktaatti post 2 (mmol/l)	12,3 vrt. 8,2 vrt. 8,8	11,0 vrt. 9,7 vrt. 10,1	11,5 vrt. 9,2 vrt. 9,7 *
Laktaatti post 4 (mmol/l)	11,5 vrt. 8,0 vrt. 8,1	10,4 vrt. 8,6 vrt. 9,0	10,8 vrt. 8,4 vrt. 8,7 *

Erot palautumismittauksen mittaustuloksissa eri kuormituskertojen jälkeen. Palautumismittausten välillä ainoat tilastollisesti merkitsevät erot olivat MVC:n tuloksissa (taulukko 12). Postpuberteettiryhmällä plyometrisen kuormituskerran jälkeisen palautumismittauksen tulos oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin kestävyys- (p=0,004) tai lajinomaisen kuormituskerran (p=0,022) jälkeisessä palautumismittauksessa. Samoin koko ryhmällä plyometrisen kuormituskerran jälkeisen palautumismittauksen tulokset olivat MVC:n osalta merkitsevästi

matalammat kuin kestävyys- ($p=0,001$) tai lajinomaisen kuormituskerran ($p=0,011$) palautumismittauksen jälkeen.

TAULUKKO 12. Palautumismittauksen mittaustulokset eri mittauskerroilla. Merkitsevyydet: * = 1. plyometrisen kuormituksen vrt. kestävyyskuormituksen jälkeinen palautumismittaus, # = plyometrisen kuormituksen vrt. lajinomaisen kuormituksen jälkeinen palautumismittaus. # = $p<0,05$, ** = $p<0,01$. Tulokset esitetty muodossa plyometrisen kuormituskerran vrt. kestävyyskuormituskerran vrt. lajinomaisen kuormituskerran jälkeiset palautumismittaukset.

Palautumismittaus	Puberteetti	Postpuberteetti	Kaikki
CMJ (cm)	35,2 vrt. 31,6 vrt. 35,7	32,8 vrt. 34,6 vrt. 33,9	33,8 vrt. 33,7 vrt. 34,5
MVC (N)	1894 vrt. 1954 vrt. 1967	1979 vrt. 2164 vrt. 2163 **#	1943 vrt. 2101 vrt. 2098 **#
Voima 100 ms (N)	704 vrt. 664 vrt. 570	913 vrt. 857 vrt. 910	824 vrt. 793 vrt. 797
Harppa ponnistuksen kesto (ms)	209 vrt. 201 vrt. 211	223 vrt. 217 vrt. 218	217 vrt. 212 vrt. 216
Harppa lentoaika (ms)	484 vrt. 481 vrt. 470	484 vrt. 491 vrt. 488	484 vrt. 488 vrt. 482
Harppa korkeus (cm)	30,4 vrt. 33,4 vrt. 33,8	34,4 vrt. 34,9 vrt. 36,2	32,8 vrt. 34,4 vrt. 35,4

10 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisten harjoituskuormitusten ja joukkuevoimistelun kilpailuohjelmasuorituksen akuutteja vasteita puberteetti- ja postpuberteetti-ikäisten naisjoukkuevoimistelijoiden hermolihasjärjestelmän nopeusvoimaominaisuuksiin. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia voimistelijoiden palautumisen tila vuorokausi harjoituksen jälkeen. Tutkimustulosten perusteella eri harjoituskuormitukset (plyometrinen, kestävyys- ja lajinomainen kuormitus) vaikuttivat lähinnä isometriseen maksimivoimaan. Kilpailuohjelmasuoritus sen sijaan johti molemmilla ryhmillä laktaattipitoisuuksien tilastollisesti merkitsevään kohoamiseen. Lisäksi tilastollisesti merkitsevää laskua ohjelmasuorituksen jälkeen ilmeni etenkin 100 ms aikana tuotetussa voimassa jokaisella eri mittauskerralla. Isometrisen maksimivoiman arvot heikentyivät enemmän plyometrisen kuormituksen jälkeen verrattuna kestävyys- tai lajinomaiseen kuormituksen. Voimistelijoiden suorituskyky muuttujat palautuvat noin 24 tunnin aikana hyvin lähtötasolle, vaikka ne välittömästi harjoituksen jälkeen tai harjoituksen aikana olisivatkin tilastollisesti merkitsevästi laskeneet lähtötilanteeseen verrattuna.

Plyometrisen kuormituksen vaikutukset. Useissa aiemmin tehdyissä tutkimuksissa plyometrisen harjoituksen on todettu akuutisti heikentävän nopeaa voimantuottoa miehillä (Nicol ym. 1996; Skurvydas ym. 2002; Kamandulis ym. 2016). Naisille tehtyjä tutkimuksia ei juuri-kaan ollut saatavilla. Tässä tutkimuksessa noin 200 ponnistusta sisältänyt plyometrinen harjoitus heikensi hieman, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi kevennyshypyn nousukorkeutta puberteetti- (-1,1 %) ja postpuberteettiryhmillä (-0,9 %) sekä koko ryhmällä (-0,9 %). Ainoat plyometrisen kuormituksen aiheuttamat tilastollisesti merkitsevät muutokset olivat koko ryhmän maksimivoiman (-7,8 %, $p < 0,05$) ja harpan korkeuden (-8,9 %, $p < 0,05$) laskut. Voiman laskua on havaittu myös mieskoripalloilijoille tehdyssä tutkimuksessa (Kamandulis ym. 2016). Vaikka tässä tutkimuksessa plyometrisessä kuormituksessa tehtyjen toistojen määrä oli suurempi kuin esimerkiksi Kamandulisin ym. (2016) 70 pudotushyppyä tai Skurvydasin ym. (2002) 100 pudotushyppyä sisältäneissä tutkimuksissa, olivat kuormituksessa suoritettavat ponnistukset mahdollisesti intensiteetiltään kevyempiä, jolloin akuutit vaikutukset olivat aiempiin tutkimuksiin verrattuna pienempiä. Myöskään muutamissa aiemmissä tutkimuksissa havaittua

plyometrisen harjoituksen akuuttia positiivista vaikutusta nopeusvoimaominaisuuksiin (De Villarreal ym. 2007; Tobin & Delahunt 2014) ei tässä tutkimuksessa ollut havaittavissa. Luultavasti tässä tutkimuksessa käytetty plyometrinen harjoitus oli intensiteetiltään liian matala aiheuttamaan muutosta suorituskyvyssä (De Villarreal ym. 2007) mutta toisaalta liian korkea, jotta se olisi parantanut suorituskykyä. Esimerkiksi Tobinin ja Delahunтин (2014) tutkimuksessa, jossa ponnistuksia tehtiin vähemmän kuin tässä tutkimuksessa (40 ponnistusta) ja jossa myös sarjapalautukset olivat lyhempiä kuin tässä tutkimuksessa (15–30 s), kevennyshypyn nousukorkeus parani tilastollisesti merkitsevästi. Akuutti väsymys plyometrisen harjoituksen seurauksena johtuu lihasten supistusnopeuden hidastumisesta, perifeerisestä väsymyksestä sekä harjoituksen aikana muodostuneista kuona-aineista (Drinkwater ym. 2009).

Tässä tutkimuksessa plyometrisen kuormituksen jälkeen suorituskykymuuttujat palautuivat lähtötasolle noin 24 tunnin aikana harppahypyn ponnistuksen kestoa lukuunottamatta. Tämä eroaa aiemmista miehille tehtyjen tutkimusten tuloksista, joissa vertikaalihypyjen nousukorkeuksien ja isometrisen maksimivoiman on todettu olevan vielä 24 tuntia plyometrisen harjoituksen jälkeen matalammalla tasolla kuin lähtötilanteessa (Horita ym. 1996; Horita ym. 1999; Highton ym. 2009; Chatzinikolaou ym. 2010; Beneka ym. 2013; Kamandulis ym. 2016). Horitan ym. (1996) tutkimuksessa havaittiin hppyjen ponnistusten kontaktiajan pitenemistä 2 tuntia ja 4 päivää plyometrisen kuormituksen jälkeen, mikä todettiin myös tässä tutkimuksessa harpan ponnistuksen kestossa.

Tähän tutkimukseen osallistuneiden harjoitustaustalla saattaa olla vaikutusta siihen, miksi merkitseviä akuutteja tai pidempikestoisia muutoksia tutkimuksessa plyometrisen kuormituksen jälkeen ei havaittu (Evans ym. 1986; Skurvydas ym. 2002). Harjoittelulla on mahdollista vaikuttaa eksentristä lihastyötä sisältävän harjoituksen jälkeiseen palautumiseen maksimivoiman osalta (Newham ym. 1987). Kestävyysharjoittelulla on todettu olevan suojaava vaikutus eksentrisessä lihastyössä syntyviä lihasvaurioita vastaan (Evans ym. 1986). Myös harjoittelulla, jossa tehdään paljon suorituksia maksimaalisella intensiteetillä, on vaikutusta siihen, ettei hppykorkeus kuormituksen seurauksena heikkene niin paljoa (Skurvydas ym. 2002). Tämän tutkimuksen tutkittavat ovat harjoittelussaan tottuneet tekemään paljon sekä intensiteetiltään keveitä että maksimaalisia ponnistuksia, joita joukkuevoimistelu lajina vaatii, mikä saattaa myös osaltaan selittää sitä, että muutokset suorituskyvyssä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Kestävyyskuormituksen vaikutukset. Tässä tutkimuksessa 25 minuuttia kestänyt intervallityyppinen kestävyyskuormitus aiheutti tilastollisesti merkitsevää laskua suorituskykymuuttujista vain harppahypyn lentoajassa puberteettiryhmällä (-3,1 %, $p < 0,05$) sekä harpan korkeudessa puberteetti- (-21,1 %, $p < 0,05$) ja postipuberteettiryhmillä (-16,1 %, $p < 0,01$) sekä koko ryhmällä (-18,0 %, $p < 0,001$). Kevennyshypyn nousukorkeus jopa parani, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi kestävyyskuormituksen seurauksena. Aiempaa tutkimustietoa juuri vastaavan tyyppisestä kestävyyskuormituksesta ja sen vaikutuksista nopeusvoimaominaisuuksiin ei ole tehty. Juárezin ym. (2011) tutkimuksessa ei havaittu 20 minuutin juosten tehtävän kestävyysharjoituksen vaikuttavan kevennyshypyn tulokseen jalkapalloilijoilla. Vuorimaa ym. (2006) ovat havainneet, että intensiivinen juoksuharjoitus saattaa mieskestävyysjuoksijoilla jopa parantaa vertikaalisuuntaista tehoa, mikä johtuu mahdollisesti tutkittavien harjoitustaustasta. Tässä tutkimuksessa tutkittavina olivat joukkuevoimistelijat, joilla kestävyysominaisuudet ovat hyvällä tasolla lajin vaatimuksiin nähden, mikä saattoi vaikuttaa siihen, että suorituskykymuuttujissa ei tapahtunut merkitsevää laskua. Gatevan (2015) tutkimuksessa rytmisen voimistelun kilpailuohjelman hapenkulutuksen arvioitiin olevan suorituksen loppupuolella noin 47 m/kg/min ja tässä tutkimuksessa koehenkilöiden VO_{2max} :n arvioitiin olevan koko ryhmällä keskimäärin 47,1 ml/kg/min.

Mahdollisesti myös kuormitus oli intensiteetiltään (syke noin 170) liian kevyt, jotta merkitsevää väsymystä olisi saatu aikaan. Matalasta intensiteetistä tämän tasoille urheilijoille kertoo myös se, että laktaattipitoisuudet eivät nousseet lähtötasoa korkeammalle kestävyysharjoituksen aikana, jolloin energiaa on tuotettu suorituksen aikana pääosin aerobisilla menetelmillä, jolloin myös palautuminen on nopeampaa (Tomlin & Wenger 2001). Kuormitus sisälsi juoksun lisäksi myös paljon kääntymistä, sillä edestakaisin juostava matka oli vain 13 metriä. Akuutit vasteet kestävyyskuormitukselle olisivat voineet olla hyvinkin erilaiset, jos kuormituksessa olisi juostu 4 minuuttia koko ajan suoraan ilman kääntymisiä.

Lajinomaisen kuormituksen vaikutukset. Joukkuevoimistelulle tyypillisestä lajinomaisesta harjoittelusta ja sen kuormittavuudesta (ei kilpailuohjelmat) ei ole saatavilla kansainvälistä tai kotimaista julkaistua tutkimustietoa. Tässä tutkimuksessa suoritettu lajinomainen kuormitus on tyypillinen liikkuen tehtävä lämmittely joukkuevoimistelussa. Kuormitus sisälsi esimerkiksi

baletin omaisia liikkeitä, ketteryyttä ja tekniikkaharjoittelua, mitkä kuuluvat usein voimisteluharjoituksen sisältöihin (Batista ym. 2018; Debien ym. 2019). Lajinomainen kuormitus heikensi tilastollisesti merkitsevästi koko ryhmän tasolla maksimivoimaa (-3,8 %, $p < 0,01$) sekä harppahypyn nousukorkeutta (-5,6 %, $p < 0,05$). Myös muissa muuttujissa tapahtui sekä puberteettittettävällä postpuberteettiryhmällä pientä laskua, mikä ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Lajinomaisen kuormitus kuitenkin nosti laktaattipitoisuuksia postpuberteettiryhmällä tilastollisesti merkitsevästi lähtötasoon verrattuna (post 2 laktaatti 44,1 %, $p < 0,05$, post 4 laktaatti 34,5 %, $p < 0,05$).

Ryhmien väliset erot. Tässä tutkimuksessa tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään kuukautisten alkamisen perusteella. Aiemman tutkimustiedon mukaan kova fyysinen harjoittelu voimistelulajeissa saattaa viivästyttää murrosiän ja kuukautisten alkamista (Theintz ym. 1993; Georgopoulos ym. 1999; Weimann 2002), mikä oli havaittavissa myös tässä tutkimuksessa. Postpuberteettiryhmällä kuukautiset olivat alkaneet keskimäärin 13,4 vuoden iässä, mutta todellisuudessa koko ryhmän kuukautisten alkamisikä tulee olemaan huomattavasti korkeampi, sillä nyt puberteettiryhmän, jolla kuukautiset eivät olleet vielä alkaneet, keski-ikä oli 14,5 vuotta. Voimistelijoille on tyypillistä hoikka ruumiinrakenne sekä muita samanikäisiä matalampi rasvaprosentti, mikä osaltaan vaikuttaa myös murrosiän viivästymiseen (Weimann 2002).

Ryhmät erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi rasvaprosentissa sekä kehon painossa, mikä selittyy sillä, että kuukautisten alkamiseen liittyy myös kehon rasvan määrän luontainen lisääntyminen (Malina ym. 2004, 350). Kuukautisten alkamisajan ei ole havaittu vaikuttavan merkitsevästi suorituskykyyn (Malina ym. 2004, 331–332), mikä oli havaittavissa myös tässä tutkimuksessa, sillä ryhmien välille löytyi vain vähän tilastollisesti merkitseviä eroja suorituskykyymuuttujissa. Postpuberteettiryhmän absoluuttinen maksimaalinen hapenotto kyky oli epäsuorassa ja submaksimaalisessa testissä merkitsevästi korkeampi kuin puberteettiryhmällä, mihin saattaa vaikuttaa luontainen kasvu (Rowland 2013). Absoluuttisen VO_{2max} :n on todettu kasvavan murrosikäen tultaessa (Malina ym. 2004, 360). Kehon painoon suhteutetussa arvioidussa VO_{2max} :ssa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mihin saattaa vaikuttaa postpuberteettiryhmän kehon rasvan suurempi määrä.

Tässä tutkimuksessa ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa maksimaalisessa isometrisessä voimassa, vaikkakin postpuberteettiryhmän absoluuttinen maksimivoima oli puberteettiryhmää 6,9 % suurempaa. Kirjallisuuden perusteella aiemmin kypsyvät yksilöt ovat vahvempia, mikä johtuu heidän suuremmasta kehon koostaan (Malina ym. 2004, 352). Kehon painoon suhteutettuna puberteettiryhmän isometrinen maksimivoima oli kuitenkin postpuberteettiryhmää suurempaa, mikä voi osaltaan johtua postpuberteettiryhmän suuremmasta kehon painosta ja rasvan määrästä. Tässä tutkimuksessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa isometrisessä voimassa, mikä saattaa johtua esimerkiksi koehenkilöiden samanlaisesta harjoitustaustasta, sillä ryhmien välillä ei ollut merkitsevää eroa harjoitusvuosien määrässä.

Laktaattipitoisuuksissa ei myöskään havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja puberteetti- ja postpuberteettiryhmien välille. Maksimaalinen laktaattipitoisuus kasvaa kirjallisuuden mukaan kasvun myötä hormonaalisista muutoksista johtuen (Malina ym. 2004, 258). Tähänkin tekijään saattaa vaikuttaa koehenkilöiden samanlainen harjoitustausta. Molemmat ryhmät myös palautuivat vuorokauden aikana kuormitusmittauksista palautumismittauksiin hyvin, mikä eroaa muusta kirjallisuudesta, sillä lasten ja nuorten palautumisen on todettu olevan aikuisia nopeampaa (Malina ym. 2004, 246;264). Palautumisen erojen on todettu johtuvan esimerkiksi siitä, että nuoret tuottavat aikuisia vähemmän laktaattia (Malina ym. 2004) ja heidän aineenvaihdunnalliset tekijänsä saattavat vaikuttaa nopeampaan palautumiseen (Falk & Dotan 2006). Koska tässä tutkimuksessa ryhmien välisissä laktaattipitoisuuksissa ei havaittu eroja, on se mahdollinen syy samanlaisen harjoitustaustan lisäksi sille, että palautuminen oli molemmilla ryhmillä vuorokaudessa samanlaista.

Eri kuormituskertojen väliset erot. Plyometrisen kuormituksen jälkeen isometrinen maksimivoima oli tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin lajinomaisen tai kestävyyskuormituskerran jälkeen postpuberteettiryhmällä ja koko ryhmällä. Myös puberteettiryhmän isometrinen maksimivoima oli matalin plyometrisen kuormituksen jälkeen muihin kuormituskertoihin verrattuna, vaikka tilastollisesti merkitsevää eroa ei ollutkaan. Maksimivoima pysyi plyometrisellä kuormituskerralla kestävyys- ja lajinomaiseen kuormituskertaan verrattuna matalampana myös lajiharjoituksen puolivälin sekä lajiharjoituksen lopun mittauksissa. Lähtötilanteissa eri kuormitukseen ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, joten plyometrisen kuormitus aiheutti näin ollen suurempaa väsymystä kuin muut kuormitukset. Pudotushyppyjen, joita muun muassa

tässä tutkimuksessa käytetty plyometrinen harjoitus sisälsi, on todettu aiheuttavan väsymystä ja lihasvaurioita etenkin polven ojentajalihaksille (Horita ym. 1996; Kamandulis ym. 2016), joiden maksimivoimaa tutkittiin isometrisellä mittauksella. Tämä saattaa osin selittää sitä, miksi isometrinen maksimivoima oli plyometrisellä kuormituskerralla muita mittauskertoja alhaisempi.

Kestävyyskuormituksen jälkeinen post 2 laktaattipitoisuus oli molemmilla ryhmillä tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin plyometrisen kuormituksen jälkeen. Post 4 laktaatti oli myös postpuberteetti- sekä koko ryhmällä matalampi kestävyyskuormituksen kuin lajinomaisen kuormituksen jälkeen. Kestävyyskuormituskerralla lajiharjoituksen puolivälin post 2 laktaatti oli myös tilastollisesti merkitsevästi matalampi kuin muilla kuormituskerroilla lajiharjoituksen puolivälissä. Sama oli havaittavissa myös lajiharjoituksen lopussa, jossa kestävyyskuormituskerran koko ryhmän laktaatit olivat plyometriseen kuormitukseen verrattuna tilastollisesti merkitsevästi matalammat. Tulos on mielenkiintoinen siinä mielessä, että laktaatit ovat merkitsevästi matalampia kaikissa mittauspisteissä kestävyyskuormituskerralla. Kestävyyskuormituksella, mikä ei merkitsevästi nostanut laktaattipitoisuuksia saattaa olla vaikutusta myös siihen, etteivät laktaattipitoisuudet nousseet samassa harjoituksessa myöskään myöhemmin niin korkealle.

Palautuminen. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella joukkuevoimistelijoiden nopeusvoimaominaisuudet palautuivat vuorokauden aikana hyvin lähtötasolle, vaikka edellisen päivän harjoitus olikin nostanut esimerkiksi laktaattipitoisuuksia keskimääräisesti yli 10 mmol/l. Vertikaalihyppyjä on tyypillisesti pidetty hyvänä harjoitusvalmiuden mittarina (Watkins ym. 2017). Kevennyshyppyjen perusteella tässä tutkimuksessa voimistelijat olivat hyvässä harjoitusvalmiudessa vuorokausi edellisen harjoituksen jälkeen. Ainoat tilastollisesti merkitsevät erot lähtötilanteen ja palautumismittauksen tulosten välillä havaittiin harppahypyn ponnistuksen kestossa, joka oli sekä plyometrisellä että lajinomaisella kuormituskerralla palautumismittauksella tilastollisesti merkitsevästi pidempi postpuberteetti ja koko ryhmällä. Ponnistusnopeuden hidastumista on havaittu myös muissa tutkimuksissa venymis-lyhenemissykliä sisältävien harjoitusten jälkeen (Nicol ym. 1996). Plyometrisen kuormituksen lisäksi myös lajinomainen kuormitus sisälsi pieniä, intensiteetiltään matalia, ponnistuksia, joten on mahdollista, että nämä useat pienet ponnistukset aiheuttavat väsymystä, joka näkyy suorituksessa ponnistusnopeuden

hidastumisena. Hidas ponnistusvaihe hypyssä johtaa usein heikompaan suoritukseen (Rodriguez Galán & Gómez-Landero Rodriguez 2018), joten valmennuksen suunnittelussa on otettava huomioon edeltävän päivän kuormitus etenkin silloin, kun edessä on tärkeä harjoitus tai kilpailu.

Joukkuevoimistelijat palautuivat suorituskyvyltään ponnistuksen kestoja lukuun ottamatta lähtötasolle varsin hyvin, mikä saattaa johtua harjoitustaustasta ja siitä, että voimistelijat ovat tottuneet harjoittelemaan tuntimäärällisesti paljon viikossa. Tällöin myös useampia peräkkäisten päivien harjoituksia tulee voimistelijoilta. Tämän tutkimuksen koehenkilöiden lajiharjoittelun määrä oli viikossa keskimäärin 18,5 tuntia. Hyvään palautumiseen nopeusvoimaominaisuuksien osalta saattaa vaikuttaa myös se, että vaikka edeltävän päivän kuormitus akuutisti heikensikin tuloksia, ei lasku niissä ollut kovinkaan monen mitatun muuttujan kohdalla tilastollisesti merkitsevää lähtötasoon verrattuna. Jos kuormitus olisi ollut intensiteetiltään kovempi, olisi palautumismittauksessa saatettu nähdä heikompa palautumista. Palautuminen on nopeampaa silloin, kun harjoitus ei aiheuta merkittävää lihasvauriota (Kamandulis ym. 2016) ja palautuminen on täydellistä vasta sen jälkeen, kun aineenvaihdunta on palautunut lähtötasolla (Tomlin & Wenger 2001). Hyvä kestävyyskunto nopeuttaa palautumista kovaintensiteettisestä suorituksesta (Tomlin & Wenger 2001), ja saattaa siten selittää tämän tutkimuksen tutkittavien hyvää palautumista.

Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet. Tämän tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää sitä, että mukana olleet tutkittavat kuuluvat Suomessa joukkuevoimistelun huippuihin ikäsarjoissaan, jolloin tutkimuksesta saadaan tietoa lajin huipulla tarvittavia ominaisuuksia. Tutkittavilla on myös pitkä harjoitustausta voimistelulajeista (noin 8,9 vuotta). Tutkimuksen vahvuutena on myös hyvä perehdytys mittauksiin alkumittauksissa, sillä eri kuormituskertojen lähtötilanteissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja, vaikka esimerkiksi isometrisen voiman mittaus oli koehenkilöille uutta. Mahdollinen oppimisvaikutus saatiin siis hyvin minimoitua alkumittauksen harjoittelun avulla.

Tutkimuksen yhtenä heikkoutena on se, että puberteetti- ja postpuberteettiryhmät olivat tutkittavamäärältään suhteellisen pieniä, mikä saattoi vaikuttaa siihen, että tilastollisesti merkitseviä

eroja ei puberteetti- ja postpuberteettiryhmiin jaettuna havaittu, vaikka koko ryhmän tasolla muutos olikin merkitsevää. Tutkimuksen laatuun vaikutti myös se, että kaikki tutkittavat eivät henkilökohtaisista syistä pystyneet osallistumaan jokaiseen kuormituskertaan, jolloin tutkittavien määrä hieman vaihteli mittauskerrasta toiseen. Poissaolojen vuoksi myös puberteetti- ja postpuberteettiryhmien tutkittavien lukumäärät vaihtelivat. Tutkittavien motivaatiolla on saattanut myös olla vaikutusta saatuihin tuloksiin. Esimerkiksi lajiharjoituksen puolivälin ja lajiharjoituksen lopun välisissä suorituskykymuuttujissa oli havaittavissa pientä, vaikkakaan ei jokaisessa tilanteessa tilastollisesti merkitsevää eroa. Lajiharjoituksen lopussa suorituskykymuuttujien arvot olivat etenkin plyometrisellä ja lajinomaisella kuormituskerralla korkeammat kuin lajiharjoituksen puolivälissä. Tutkittavat ovat saattaneet motivoitua viimeisistä suorituksista, minkä vuoksi muuttujien arvot ovat lopussa korkeammat etenkin maksimivoiman ja 100 ms aikana tuotetun voiman osalta.

Tutkimuksessa harppahypyn videoiden kalibrointi ja analysointi aiheuttivat haasteita eikä kalibrointi jokaisessa suorituksessa onnistunut, minkä vuoksi harppahypyn tuloksista jouduttiin jättämään useita eri tutkittavien mittaustuloksia pois. Analysointihaasteiden vuoksi harppahypyn korkeuden arvoissa saattaa olla muutamia virheitä. Kevennyshyppy mitattiin noin minuutin sisään kuormituksen päättymisestä, isometrinen voima noin 4–6 minuuttia ja harppa 5–7 minuuttia kuormituksen päättymisen jälkeen. Aikaväli jälkimmäisiin mittauksiin saattoi olla liian pitkä, jotta välittömät kuormituksen vaikutukset olisivat näkyneet tilastollisesti merkitsevinä eroina. Tutkimuksessa ei myöskään kontrolloitu 24 tunnin palautumisajan fyysistä aktiivisuutta muuten kuin lajiharjoitusten osalta, joten tuloksiin on voinut vaikuttaa esimerkiksi se, että toinen koehenkilö on ollut fyysisesti aktiivinen koulun liikuntatunnilla ja toisen koehenkilön palautuminen on ollut passiivista koko

Johtopäätökset. Tämä tutkimus osoitti, että joukkuevoimistelun kilpailuohjelman suoritus aiheuttaa hetkellistä väsymystä enemmän, kuin harjoituksen alussa suoritettu plyometrinen, kestävyys- tai lajinomainen kuormitus, joita tehdään usein esimerkiksi lämmittelynä fyysisten ominaisuuksien ja taidon kehittämiseksi. Huolimatta siitä, että voimistelijoiden nopeusvoimaominaisuudet heikkenevät hieman akuutisti kuormitusten seurauksena, heidän suorituskykynsä palautuu hyvin vuorokauden aikana lähtötasolle. Joukkuevoimistelun harjoituksia suunniteltaessa on tärkeä ottaa huomioon riittävän pitkät palautumisajat etenkin silloin, kun ohjelman suoritusten

on tärkeä olla teknisesti laadukkaita. Biologinen kypsyminen näkyy joukkuevoimistelijoilla etenkin eroissa kehonkoostumuksessa, mutta suorituskyyvyssä ei ollut merkittävää eroa aiemmin ja myöhemmin kypsyvien välillä. Tämä on tärkeä tieto esimerkiksi valmennuksen suunnittelun kannalta, sillä joukkueiden sisällä saattaa olla suuriakin eroja biologisessa kypsymisessä voimistelijoiden välillä.

Käytännön sovellutukset. Valmennuksen kannalta tärkeänä informaationa tästä tutkimuksesta saatiin selville, että joukkuevoimistelijoiden harjoittelussa on tärkeä huomioida riittävät palautumisajat niin lämmittelyn kuin ohjelmasuoritustenkin jälkeen. Lajille tyypillinen lämmittely ei vaikuttanut tässä tutkimuksessa merkitsevästi nopeusvoimaominaisuuksiin, mutta huomionarvoista on se, että laktaattipitoisuus oli vielä neljä minuuttia lajinomaisen kuormituksen jälkeen merkitsevästi lähtötasoon nähden koholla (34,5 %, $p < 0,05$). Harjoittelussa huomioitavaa on myös se, että harppahypyn korkeus heikkeni koko ryhmän kohdalla tilastollisesti merkitsevästi lajinomaisen kuormituksen seurauksena (-5,6 %, $p < 0,05$) ja myös erillisinä ryhminä tarkasteltuna havaittiin myös laskua (puberteetti -5,6 %, postpuberteetti -5,5 %), joskaan se ei ollutkaan tilastollisesti merkitsevää. Harppahypyn mittaus suoritettiin noin 6–7 minuuttia kuormituksen jälkeen, joten harjoittelussa on tärkeä huomioida riittävät palautumisajat, jotta nopeaa voimantuottoa vaativissa suorituksissa ei ilmene kuormituksen aiheuttamaa väsymystä.

Vaikka maksimivoima ja harpan muuttajat mitattiin vasta 4–7 minuuttia kilpailuohjelmasuorituksen päättymisen jälkeen, niissä oli useamman minuutin palautuksella havaittavissa tilastollisesti merkitseviä eroja. Valmennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa onkin tärkeä huomioida se, että suorituskyyky voi joukkuevoimistelun kokonaisen ohjelmasuorituksen jälkeen olla heikentynyt vielä useita minuutteja sen päättymisestä, jolloin suoritusten välille on huomioitava riittävän pitkät tauot, jos suoritus halutaan pystyä näyttämään tilanteessa, jossa suurin väsymys on ohitettu. Myös laktaattipitoisuudet olivat ohjelmakokonaisen jälkeen vielä neljän minuutin kohdalla merkitsevästi lähtötasoa korkeammalla, joten palautuminen ohjelmasuorituksesta vaatii tämän tutkimuksen perusteella ainakin yli 4 minuutin ajan. Liian lyhyt palautumisaika saattaa vaikuttaa siihen, että voimistelijat eivät välttämättä pysty tekemään teknisesti onnistuneita suorituksia. Tässä tutkimuksessa mitatut yli 10 mmol/l laktaattipitoisuudet kilpailuohjelmasuori-

tuksen jälkeen osoittavat selvästi anaerobisen energiantuoton merkityksen suorituksessa. Laktatipitoisuuden nousu kokonaisten ohjelmasuoritusten aikana on mahdollisesti yhteydessä myös suorituskyvyn heikkenemiseen.

Nopeusvoima on tärkeä ominaisuus joukkuevoimistelussa, mutta esimerkiksi sitä, mikä yhteys isometrisellä maksimivoimalla ja isometrisellä voimantuottonopeudella on lajin kannalta, ei ole tutkittu. Vaikka siis tässä tutkimuksessa todettiin maksimivoiman heikkenemistä kuormituksen ja kokonaisten ohjelmasuoritusten seurauksena, ei ole selkeää tietoa siitä, kuinka tämä näkyy itse lajisuorituksessa. Tämän vuoksi olisikin tärkeä tutkia joukkuevoimistelua lajina vielä enemmän.

LÄHTEET

- Arkko, T. 2010. Joukkuevoimistelun harppaus- ja rengashyppyjen 2-dimensionaalinen analyysi. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Kandidaatin tutkielma. Viitattu 27.10.2020. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/25486>.
- Asmussen, E. & Bonde-Petersen, F. 1974. Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiologica Scandinavia* 91 (3), 385–392.
- Aura, O. & Viitasalo, J. T. Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sport Biomechanics* 5 (1), 89-98.
- Batista, A., Gomes, T. N., Garganta, R. & Ávila-Carvalho, L. 2018. Training intensity of group in rhythmic gymnastics. *Science, Movement and Health* 18 (1), 17–24.
- Beneka, A. G., Malliou, P. K., Missailidou, V., Chatzinikolaou, A., Fatouros, I., Gourgoulis, V., Georgiadis, E. 2013. Muscle performance following an acute bout of plyometric training combined with low or high intensity weight exercise. *Journal of Sports Sciences* 31 (3), 335–343.
- Birat, A., Sebillaud, D., Bourdier, P., Doré, E., Duché, P., Blazeovich, A., Patikas, D. & Ratel, S. 2020. Effect of drop height on vertical jumping performance in pre-, circa-, and post-pubertal boys and girls. *Pediatric Exercise Science, Human Kinetics* 32 (1), 23–29.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G. M., Litjens, M. C. A. & Van Soest, A. J. 1996. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (11), 1402–1412.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P. V. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology* 50 (2), 273–282.
- Chatzinikolaou, A., Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Avloniti, A., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Douroudos, I., Michailidis, Y., Beneka, A., Malliou, P., Tofas, T., Georgiadis, I., Mandalidis, D. & Taxildaris, K. 2010. Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (5), 1389–1398.
- Cicchella, A. 2009. Kinematics analysis of selected rhythmic gymnastic leaps. *Journal of Human Sport and Exercise* 4 (1), 40–47.

- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. 2011a. Developing maximal neuromuscular power. Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine* 41 (1), 17–38.
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. 2011b. Developing maximal neuromuscular power. Part 2 – Training Considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine* 41 (2), 125–146.
- De Leva, P. 1996. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics* 29 (9), 1223–1230.
- Debien, P., Miloski, B., Timoteo, T., Ferezin, C. & Bara Filho, M. 2019. Weekly profile of training load and recovery in elite rhythmic gymnasts. *Science of Gymnastics Journal* 11 (1), 23–35.
- De Villarreal, E. S. S., González-Badillo, J. J. & Izquierdo, M. 2007. Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology* 100 (4), 393–401.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Brasili, P., Merni, F., Piazza, M., Toselli, S., Ventrella, A. R. & Guidetti, L. 2008. Leaping ability and body composition in rhythmic gymnasts for talent identification. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 48 (3), 341–346.
- Di Cagno, A., Baldari, C., Battaglia, C., Gallotta, M. C., Videira, M., Piazza, M. & Guidetti, L. 2010. Preexercise static stretching effect on leaping performance in elite rhythmic gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (8), 1995–2000.
- Douda, H. T., Toubekis, A. G., Avioniti, A. A. & Tokmakidis, S. P. 2008. Physiological and anthropometric determinants of rhythmic gymnastics performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 3 (1), 41–54.
- Drinkwater, E. J., Lane, T. & Cannon, J. Effect of an acute bout of plyometric exercise on neuromuscular fatigue and recovery in recreational athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (4), 1181–1186.
- Dyhre-Poulsen, P. 1987. An analysis of splits leaps and gymnastic skill by physiological recordings. *European Journal of Applied Physiology* 56 (4), 390–397.
- Ellison, P. T. 2002. Puberty. Teoksessa C. Noël (toim.) *Human growth and development*. Amsterdam; New York: Academic Press, 65–84.

- Emmonds, S., Morris, R., Murraray, E., Robinson, S., Turner, L. & Jones, B. 2017. The influence of age and maturity status on the maximum and explosive strength characteristics of elite youth female soccer players. *Science and Medicine in Football* 1 (3), 209–215.
- Enoka, R. 2015. *Neuromechanics of human movement*. 5. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Evans, W. J., Meredith, C. N., Cannon, J. G., Dinarello, C. A., Frontera, W. R., Hughes, V. A., Jones, B. H. & Knuttgen, H. G. 1986. Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology* 61 (5), 1864–1868.
- Falk, B. & Dotan, R. Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exercise and Sport Science Reviews* 34 (3), 107–112.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N. & Buckenmeyer, P. 2000. Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* 14 (4), 470–476.
- Fernandez-Villarino, M. A., Sierra-Palmeiro, E., Bobo-Arce, M. & Lago-Peñas, C. 2015. Analysis of the training load during the competitive period in individual rhythmic gymnastics. *International Journal of Performance Analysis in Sport* 15 (2), 660–667.
- Fridén, J., Seger, J. & Ekblom, B. 1988. Sublethal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *European Journal of Applied Physiology* 57 (3), 360–368.
- Georgopoulos, N., Markou, K., Theodoropoulou, A., Paraskevopoulou, P., Varaki, L., Kazantzi, Z., Leglise, M. & Vagenakis, A. G. 1999. Growth and pubertal development in elite female rhythmic gymnasts. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 84 (12), 4525–4530.
- Gateva, M. 2011. *Investigations in rhythmic gymnastics*. Teoksessa M. Jemni (toim.) *The science of gymnastics*. New York: Routledge, 43–52.
- Gateva, M. 2013. Investigation of the strength abilities of rhythmic gymnasts. *Research in Kinesiology* 41 (2), 245–248.
- Gateva, M. 2014. Investigation of the effect of the training load on the athletes in rhythmic and aesthetic group gymnastics during the preparation period. *Research in Kinesiology* 4 (1), 40–44.
- Gateva, M. 2015. Tests to determinate the fitness level in rhythmic gymnastics. *Sport Mont Journal* 13 (43-44-45), 63–69.

- Guyton, A. C. & Hall, J. E. 2006. Textbook of medical physiology. 11. painos. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N. & Rosenstein, R. M. 1990. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Medicine and science in sports and exercise* 22 (6), 825–833.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M. & Kraemer, W. J. 1991. Estimation of human power output from vertical jump. *Journal of Applied Sport Science Research* 5 (3), 116–120.
- Highton, J. M., Twist, C. & Eston, R. G. 2009. The effects of exercise-induced muscle damage on agility and sprint running performance. *Journal of Exercise Science & Fitness* 7 (1), 24–30.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C. & Kyröläinen, H. 1996. Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology* 73 (5), 393–403.
- Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C. & Kyröläinen, H. 1999. Effect of exhausting stretch-shortening cycle exercise on the time course of mechanical behavior in the drop jump: possible role of muscle damage. *European Journal of Applied Physiology* 79 (2), 160–167.
- Juárez, D., López De Subijana, C., Mallo, J. & Navarro, E. 2011. Acute effects of endurance exercise on jumping and kicking performance in top-class young soccer players. *European Journal of Sport Science* 11 (3), 191–196.
- Jemni, M. & Sands W. A. 2011. Training principles in gymnastics. Teoksessa M. Jemni (toim.) *The science of gymnastics*. New York: Routledge, 26–31.
- Kamandulis, S., Venckunas, T., Snieckus, A., Nickus, E., Stanislovaitiene, J., Skurvydas, A. 2016. Changes of vertical jump height in response to acute and repetitive fatiguing conditions. *Science & Sports* 31 (6), 163–171.
- Keskinen, O. P., Mänttari, A., Aunola, S. & Keskinen, K. L. 2007. Aerobisen kestävyiden arviointimenetelmät. Teoksessa K. L. Keskinen, K. Häkkinen, M. Kallinen & J. Aho (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. Helsinki: Liikuntatieteellinen seura, 78–103.
- Knuttgen, H. G. & Kraemer, W. J. 1987. Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research* 1 (1), 1–10.
- Kraemer, W. J. & Newton, R. U. 1994. Training for improved vertical jump. *Sports Science Exchange* 7 (6), 1–12.

- LaChance, P. 1995. Plyometric exercise. *Strength and Conditioning* 17 (4), 16–23.
- Laine-Näätänen, A. 2012. Naisvalmentajan haasteet. Teoksessa A. Mero, A. Uusitalo, H. Hiil-
loskorpi, A. Nummela & K. Häkkinen (toim.) *Naisten ja tyttöjen urheiluvalmennus*.
Lahti: VK-Kustannus, 358–362.
- Lepers, R., Hausswirth, C., Maffiuletti, N., Brisswalter, J., Van Hoecke, J. 2000a. Evidence of
neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Medicine & Science in Sports
& Exercise* 33 (11), 1880–1886.
- Lepers, R., Poussen, M. L., Maffiuletti, N. A., Martin, A. & Van Hoecke, J. 2000b. The effects
of a prolonged running exercise on strength characteristics. *International Journal of
Sports Medicine* 21 (4), 275–280.
- Luebbbers, P. E., Potteiger, J. A., Hulver, M. W., Thyfault, J. P., Carper, M. J. & Lockwood,
R.H. 2003. Effects of plyometric training and recovery on vertical jump performance
and anaerobic power. *Journal of Strength and Conditioning Research* 17 (4), 704–709.
- Malina, R. M., Bouchard, C. & Bar-Or, O. 2004. Growth, maturation, and physical activity. 2.
painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I & Cardinale, M. 2004. Reliability and factorial validity of
squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*
18 (3), 551–555.
- McArdle, W. D., Katch, F. I. & Katch, V. L. 2015. *Exercise physiology: nutrition, energy, and
human performance*. 8. painos. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Mkaouer, B., Amara, S. & Tabka, Z. 2012. Split leap with and without ball performance factors
in rhythmic gymnastics. *Science of Gymnastics Journal* 4 (2), 75–81.
- Moeskops, S., Oliver, J. L., Read, P. J., Cronin, J. B. Myer, G. D., Haff, G. G. & Lloyd, R. S.
2020. The influence of biological maturity and competitive level on isometric force-
time curve variables and vaulting performance in young female gymnasts. *Journal of
Strength and Conditioning Research* 34 (8), 2136–2145.
- Moir, G. L. 2008. Three different methods for calculating vertical jump height from force plat-
form data in men and women. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*
12 (4), 207–218.
- Nardone, A., Romanò, C. & Schieppati, M. 1989. Selective recruitment of high-threshold hu-
man motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *Journal of
Physiology* 409 (1), 451–471.

- Newham, D. J., Jones, D. A. & Clarkson, P. M. 1987. Repeated high-force eccentric exercise: effects on muscle pain and damage. *Journal of Applied Physiology* 63 (4), 1381–1386.
- Nicol, C., Komi, P. V. & Marconnet P. 1991a. Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1, 10–17.
- Nicol, C., Komi, P. V. & Marconnet, P. 1991b. Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance. II. Changes in force, integrated electromyographic activity and endurance capacity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 1, 18–24.
- Nicol, C., Komi, P. V., Horita, T., Kyröläinen, H. & Takala, T.E.S. 1996. Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise. *European Journal of Applied Physiology* 72 (5–6), 401–409.
- Oliver, J., Armstrong, N. & Williams, C. 2008. Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise. *Journal of Sports Sciences* 26 (2), 141–148.
- Purenović, T., Bubanj, S., Popović, R., Stanković, R. & Bubanj, R. 2020. Comparative kinematics analysis of different split front leaps. *Sport Science* 3 (1), 13–20.
- Rodriguez Galán, M. & Gómez-Landero Rodríguez, L. A. 2018. Performance variables and technical penalties of the split leap. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte* 18 (72), 605–619.
- Rogol, A., D., Clark, P., A. & Roemmich, J., N. 2000. Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity¹⁻⁴. *The American Journal of Clinical Nutrition* 72, 521–528.
- Rowland, T. 2013. Oxygen Uptake and Endurance Fitness in Children, Revisited. *Pediatric Exercise Science* 25, 508–514.
- Schwane, J. A., Johnson, S. R., Vandenakker, C. B. & Armstrong, R. B. 1983. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15 (1), 51–56.
- Skurvydas, A., Dudoniene, V., Kalvénas, A. & Zuoza, A. 2002. Skeletal muscle fatigue in long-distance runners, sprinters and untrained men after repeated drop jumps performed at maximal intensity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 12 (1), 34–39.

- Theintz, G. E., Howald, H., Weiss, U. & Sizonenko, P. C. 1993. Evidence for a reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. *The Journal of Pediatrics* 122 (2), 306–313.
- Theurel, J. & Lepers, R. 2008. Neuromuscular fatigue is greater following highly variable versus constant intensity endurance cycling. *European Journal of Applied Physiology* 103 (4), 461–468.
- Tobin, D. P. & Delahunt, E. 2014. The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (2), 367–372.
- Tomlin, D. L. & Wenger, H. A. 2001. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Medicine* 31 (1), 1–11.
- Viitasalo, J. T. 1988. Evaluation of explosive strength for young and adult athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 59 (1), 9–13.
- Vuorimaa, T., Virlander, R., Kurkilahti, P., Vasankari, T. & Häkkinen, K. 2006. Acute changes in muscle activation and leg extension performance after different running exercises in elite long distance runners. *European Journal of Applied Physiology* 96 (3), 282–291.
- Watkins, C. M., Barillas, S. R., Wong, M. A., Archer, D. C., Dobbs, I. J., Lockie, R. G., Coburn, J. W., Tran, T. T. & Brown, L. E. 2017. Determination of vertical jump as a measure of neuromuscular readiness and fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31 (12), 3305–3310.
- Weimann, E. 2002. Gender-related differences in elite gymnasts: the female athlete triad. *Journal of Applied Physiology* 92 (5), 2146–2152.

Liitteet.

LIITE 1. Lajinomainen kuormitus.

Lajinomainen kuormitus

- relevekävely + yläselän pyöristys ja avaus
- nilkkajuoksu + työntökädet
- pikkuvaihdot kädet eteen
- pikkuvaihdot kädet taakse
- kinkka-harppa
- kinkka-harppa pyörien
- sivulaukka + kädet ympäri
- aalto + vauhtiheitto liikkuen
- relevekävely + sivutaivutukset
- harjauuskävely
- singerit
- releve + kyykyssä käynti
- pyörivä varsa + plintsik
- sivuaalto + sydänaalto + mato
- kuperkeikka + lattiapyörähdys
- kärrynpyörä + sivupassetourlan
- pikkuharpat samalla jalalla
- kuperkeikka + jännehyppy
- sivusyöksy + pyörivä koonto
- pikkuvarsat
- sivulaukka + varsa sivuttain
- kallistus + etuaalto + vauhtivienti
- passepiruetit
- 3 passepiruetia + lattiapyörähdys
- sivuvauhtiheitto + kärräri
- askeleet + passe-øjennus-passe-alas
- askelkyykky + piruetti sisään päin