

**ENERGIANSAAATAVUUDEN YHTEYS VOIMAHARJOITTELUINTERVENTION
AIKAANSAAMIIN HARJOITUSVASTEISIIN**

Maria Päivärinne

Fysiologian kandidaatintutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Päivärinne, M. 2024. Energiansaataavuuden yhteys voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, fysiologian kandidaatintutkielma, 40 s.

Johdanto. Kompleksivoimaharjoittelussa yhdistetään raskas voimaharjoittelu nopeus- tai hyppelyharjoitukseen. Tarkoituksena on kehittää voimantuottonopeutta ja tehontuottoa, jotka molemmat ovat oleellisessa osassa joukkuepalloilussa. Kompleksivoimaharjoittelun on osoitettu kehittävän palloilijoiden maksimaalista alaraajojen voimantuottoa sekä tehoa mittaavaa kevennyshyppyä. Riittävän energiansaannin on osoitettu vaikuttavan voimaharjoittelun aikaansaamiin vasteisiin. Energiansaataavuus on käsite, jonka avulla voidaan määrittää energiamäärä, mikä jää kehon fysiologisiin toimintoihin liikunnan jälkeen. Riittävä energiansaataavuus edesauttaa ylläpitämään terveyttä ja saavuttamaan haluttuja harjoitusvasteita. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, onko energiansaataavuus yhteyksissä kuuden viikon voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin.

Menetelmät. Tutkimusjoukko koostui 22 naispaloilijasta, lajit olivat futsal (n=11), jääkiekko (n=3) ja koripallo (n=8). Tutkittavat suorittivat kuuden viikon voimaharjoitteluintervention, jota ennen ja jonka jälkeen suoritettiin aamu- ja suorituskykymittaukset. Lisäksi tutkittavat pitivät ruoka- ja harjoittelupäiväkirjaa tutkimuksen alussa ja/tai lopussa kolmen vuorokauden ajan. Kehonkoostumus mitattiin DXA-mittauksella (*dual energy X-ray absorptiometry*, DXA). Päiväkirjojen ja kehonkoostumuksen perusteella määritettiin urheilijoiden energiansaataavuus. Suorituskyvyn mittareina käytettiin maksimaalista isometristä jalkojen ojennusta ja kevennyshyppyä.

Tulokset. Matalaa energiansaataavuutta esiintyi 9 %:lla ja vähäistä hiilihydraattien saantia 96 %:lla tutkittavista. Voimaharjoittelu kehitti isometristä jalkojen ojennusta (pre $343,3 \pm 81,7$ kg vs. post $378,9 \pm 73,2$ kg, $p=0,009$), mutta ei kevennyshyppyä (pre $27,4 \pm 4,28$ cm vs. post $26,9 \pm 4,4$ cm, $p=0,162$). Kehonkoostumuksessa havaittiin merkitsevä muutos rasvan massassa (pre $17,6 \pm 4,4$ kg vs. post $17,9 \pm 5,3$ kg, $p=0,033$), mutta ei kehon rasvattomassa massassa (pre $45,7 \pm 5,0$ kg vs. post $46,0 \pm 4,8$ kg, $p=0,188$). Energiansaataavuus ei ollut yhteyksissä isometriseen jalkojen ojennukseen ($r_s=0,102$, $p=0,651$), kevennyshyppyyn ($r=0,148$, $p=0,512$), eikä kehonkoostumukseen.

Pohdinta. Laskennallisesti määritelty energiansaataavuus ei ollut yhteyksissä kompleksivoimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin naispaloilijoilla. Kompleksivoimaharjoittelu näyttää kuitenkin kehittävän maksimaalista isometristä jalkojen ojennusta, mutta ei kevennyshyppyä. Tulokset kevennyshypyn ja rasvamassan osalta vaikuttaisivat aiemman tutkimuksen perusteella siltä, että LEA on voinut olla yleisempää, kuin tutkimustulokset osoittavat. Tutkimuksia voimaharjoittelun ja energiansaataavuuden yhteyksistä tarvitaan lisää. Energiansaataavuutta olisi hyvä arvioida myös muilla menetelmillä, sillä laskennallinen määrittäminen sisältää haasteita niin energiansaannin kuin energiankulutuksenkin arvioinnin osalta.

Asiasanat: energiansaataavuus, naisurheilija, voimaharjoittelu

KÄYTETYT LYHENTEET

CMJ	counter movement jump, kevennyshyppy
DXA	dual-energy x-ray absorptiometry, kaksiennergiaisen röntgenabsorptiometria
EA	energy availability, energiansaatavuus
EEE	exercise energy expenditure, harjoittelun aiheuttama energiankulutus
EI	energy intake, energiansaanti
FFM	fat free mass, rasvaton kehonmassa
LEA	low energy availability, matala energiansaatavuus
LH	luteinizing hormone, lutenisoiva hormoni
NEAT	non-exercise activity thermogenesis, muu fyysinen aktiivisuus kuin liikunnasta
1 RM	one repetition maximum, yhden toiston maksimi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 ENERGIANSAAATAVUUS.....	3
2.1 Energiansaatavuuden määrittämiseen liittyvät haasteet	4
2.2 Matalan energiansaatavuuden prevalenssi ja yhteydet vähäiseen hiilihydraattien saantiin.....	5
2.3 Matalan energiansaatavuuden yhteydet terveyteen ja suorituskykyyn.....	6
3 VOIMAHARJOITTELUN AIKAANSAAMAT HARJOITUSVASTEET.....	9
3.1 Kompleksivoimaharjoittelu	10
3.2 Kompleksivoimaharjoittelun vaikutukset voiman kehitykseen.....	11
3.2.1 Kevennyshyppy	13
3.2.2 Jalkaprässi.....	14
4 ENERGIANSAAATAVUUDEN JA VOIMAHARJOITTELUVASTEIDEN YHTEYDET.....	15
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	18
6 MENETELMÄT.....	20
6.1 Tutkimusasetelma.....	20
6.2 Tutkittavat.....	20
6.3 Tutkimusaineiston keräys ja analysointi.....	21
6.4 Tilastolliset menetelmät.....	23
7 TULOKSET.....	24
7.1 Voimaharjoitteluintervention vaikutukset suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen.....	24
7.2 Energiansaatavuuden ja hiilihydraattien saannin väliset yhteydet suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen	25

8 POHDINTA.....	28
8.1 Matalan energiansaatavuuden ja vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys.....	28
8.2 Voimaharjoitteluintervention vaikutukset naispallolijoiden suorituskyyyn.....	32
8.3 Voimaharjoitteluintervention vaikutukset naispallolijoiden kehonkoostumukseen.....	35
8.4 Energiansaatavuuden ja hiilihydraattien saannin yhteydet voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin	36
8.5 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet.....	38
8.6 Johtopäätökset	39
LÄHTEET	41

1 JOHDANTO

Joukkueurheilussa ja palloilulajeissa tehontuotto erilaisissa hyppyissä ja lyhyissä juoksusuorituksissa on tavanomaista. Säännöllisellä voimaharjoittelulla voidaan kehittää urheilijan absoluuttista ja suhteellista voimaa, ja onkin havaittu, että suurempi lihasvoima voi parantaa voima-aikaominaisuuksia, kuten voimantuottonopeutta ja tehontuottoa. Kirjallisuus osoittaa, että lihasvoimaltaan vahvemmillä urheilijoilla on huomattavasti parempi voimantuottonopeus ja näin myös tehontuotto. Näiden seurauksena he hyppäävät korkeammalle, juoksevat nopeammin ja suoriutuvat suunnanmuutostesteistä paremmin. Heidän on myös havaittu loukkaantuvan vähemmän. (Suchomel ym. 2016) Parempi kyky tuottaa voimaa ja tehoa voi erotella pelaajat eri kilpatasoille. Tästä voidaan päätellä näiden kykyjen olevan yhteydessä parempaan urheilusuoritukseen joukkuelajeissa (Cormier ym. 2020).

Voimantuottonopeuden ja tehontuoton on havaittu kehittyvän sekä raskaalla voimaharjoittelulla (Aagaard ym. 2002) että plyometriaharjoittelulla (Bogdanis ym. 2019). Yhdistämällä raskas ja hidastempoinen suoritus nopeaan ja kevyt kuormaiseen suoritukseen, on mahdollista saada kehitystä voimantuottonopeuteen ja tehontuottoon. Kompleksivoimaharjoittelu on yksi näistä harjoittelumuodoista, jossa yhdistetään raskas voimaharjoittelu nopeus- tai hyppelyharjoitteluun vuorottelevissa liikkeissä. Tarkoituksena on, että raskas voimaharjoittelu edesauttaa tehoyhtälön ($P = F \times v$) voimaosuuteen ja nopeusharjoittelu kehittää yhtälön nopeusosiota hermostollisen kehittymisen myötä (Bogdanis ym. 2019). Aiempi tutkimusnäyttö osoittaa, että kompleksivoimaharjoittelulla on saatu kehitystä palloilijoilla sekä maksimaaliseen alaraajojen voimantuottoon että räjähtävää voimantuottoa mittaavaan kevennyshyppyyn (Faude ym. 2013; Hammami ym. 2019). Urheiluun liittyvää tutkimusta on tehty vähemmän naisilla kuin miehillä (Costello ym. 2014), ja koska tässä tutkimuksessa tutkittavat ovat naisia, on kirjallisuuskatsauksessa käytetty pääasiassa naisiin liittyvää tutkimusta.

Voimaharjoittelun lisäksi harjoitusvasteisiin vaikuttavat useat eri tekijät. Esimerkiksi riittävän ja monipuolisen ravitsemuksen on osoitettu olevan yhteydessä positiivisiin harjoitusvasteisiin (Kreider ym. 2010). Muita aiemmissa tutkimuksissa esiin nousseita tekijöitä ovat muun muassa olleet palautumista edesauttavat lepo ja uni (Meeusen ym. 2013). Riittävää energiansaantia on määritetty laskemalla energiatasapaino, jossa energiansaannista vähennetään energiankulutus (Loucks 2004, 2013). Määrittäminen voidaan tehdä myös laskemalla energiansaataavuus.

Jälkimmäisessä laskutavassa huomioidaan energiamäärä, joka jää kehon fysiologisiin prosesseihin liikunnan jälkeen suhteessa kehon rasvattomaan massaan. (Loucks 2013) Energiansaataavuus voi kuitenkin jäädä matalaksi ja vaikutukset voivat näkyä muun muassa terveydessä, harjoitusvasteissa sekä suorituskäyvissä esimerkiksi alentuneena voimantasona. Suorituskäyvyn kannalta on tärkeä saada myös riittävästi hiilihydraatteja, sillä ne toimivat varsinkin korkeilla intensiteeteillä kehon pääenergianlähteinä. (Melin ym. 2023) Urheilijana kehittymisen kannalta riittävä energiansaataavuus ja hiilihydraattien saanti ovat tärkeässä roolissa.

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on selvittää, onko energiansaataavuudella ja hiilihydraattien saannilla yhteyttä voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin. Hypoteesina on, että korkeamman energiansaataavuuden omaavat urheilijat kehittyisivät voimaharjoittelun aikana merkitsevästi, toisin kuin matalan energiansaataavuuden omaavat urheilijat. Tutkimuksessa voimaharjoitusvasteita mitataan maksimaalisella isometrisellä jalkojen ojennuksella sekä räjähtävää voimantuottoa mittaavalla kevennyshypyillä. Lisäksi tarkastellaan energiansaataavuuden tasoja ja hiilihydraattien saantia sekä kehonkoostumusta.

2 ENERGIANSAAATAVUUS

Energian tarve vaihtelee eri urheilulajien välillä ja eri harjoitus- ja kilpailukauden vaiheissa, mutta huippu-urheilussa energian tarve on yleensä suurta (Melin ym. 2023). Energiensaanti (*energy intake*, EI) tarkoittaa sitä energiamäärää, minkä keho saa ravinnosta. Energiensaataavuus (*energy availability*, EA) tarkoittaa ravinnosta saatavaa energiaa, mikä jää kehon fysiologisiin toimintoihin liikuntaan käytetyn energiankulutuksen (*exercise energy expenditure*, EEE) jälkeen. EA voidaan arvioida, kun tiedetään henkilön rasvaton kehon massa (*fat free mass*, FFM), ravinnosta saatu energia sekä liikuntaan käytetty energiankulutus. (Loucks 2013) Alla oleva kaava havainnollistaa tätä.

$$\frac{\text{Energiensaanti, EI (kcal)} - \text{liikuntaan käytetty energiankulutus, EEE (kcal)}}{\text{rasvaton kehon massa, FFM (kg)}}$$

Taulukossa yksi on esitetty energiensaataavuuksien luokitukset naisille. Loucksin ja Thuman (2003) tutkimuksessa naisille optimaaliseksi energiensaataavuudeksi on määritetty 45 kcal/kg FFM/vrk tai enemmän. Tähän arvoon on verrattu matalampia energiensaataavuuksia, ja sitä millaisia muutoksia mitattaviin parametreihin, kuten luteinisoivaan hormoniin (LH), kasvuhormoniin (GH), insuliinin kaltaiseen kasvutekijään (IGF-1), kortisoliin ja insuliiniin, tällöin saadaan. Kohtalainen energiensaataavuus on noin 30–45 kcal/kg FFM/vrk ja matala (*low energy availability*, LEA) silloin, kun energiensaataavuus on vähemmän kuin 30 kcal/kg FFM/vrk. (Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003) Myöhemmin Loucks (2013) on määritellyt, että 45 kcal/kg FFM/vrk on riittävä energiensaataavuuden päiväraja urheilemattomille naisille.

TAULUKKO 1. Energiensaataavuuden arvioidut tasot naisilla. (Mukaiilu Heikura 2021)

Luokittelu	Energiensaataavuus
Optimaalinen EA	>45 kcal/kg FFM/vrk
Kohtalainen EA	30–45 kcal/kg FFM/vrk
Matala EA	<30 kcal/kg FFM/vrk

EA, energiensaataavuus (*energy availability*); FFM, rasvaton massa (*fat free mass*); kcal, kilokalori; kg, kilogramma; vrk, vuorokausi.

2.1 Energiansaataavuuden määrittämiseen liittyvät haasteet

Energiansaataavuuden määrittämiseen tarvitaan tieto energiensaannista (EI), liikuntaan käytetystä energiankulutuksesta (EEE) sekä kehon rasvattomasta massasta (kg FFM) (Loucks 2013). Energiensaanti voidaan määrittellä esimerkiksi ruokapäiväkirjan avulla (Kettunen ym. 2021; Schaal ym. 2021) tai tarjoamalla valmiita annoksia, joista energia- ja ravintoainejakauma tiedetään tarkasti (Langan-Evans ym. 2021). Liikuntaan käytetty energiankulutus voidaan määrittellä esimerkiksi harjoittelupäiväkirjan (Kettunen ym. 2021), aktiivisuurannekkeen (Schaal ym. 2021) tai sykemittarin avulla (Langan-Evans ym. 2021). Rasvattoman kehon massan määrittäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi kaksienegiaisella röntgenabsorptiometrialla (*dual-energy x-ray absorptiometry*, DXA) (Langan-Evans ym. 2021; Schaal ym. 2021) tai bioimpedanssilaitteella (Kettunen ym. 2021).

Energiansaataavuuden arviointi on haastavaa, jos tutkittavan ravitsemusta ei ole ohjattu, sillä sekä energiensaanti että liikuntaan kulutettu energia sisältävät molemmat mittaushaasteita (Heikura ym. 2022; Schaal ym. 2021). Matalaa energiansaataavuutta voidaan arvioida suorasti tai epäsuorasti. Suorassa menetelmässä lasketaan EI ja EEE. Epäsuorassa arvioinnissa hyödynnetään oirekuvausta lyhyen tai pitkän aikavälin LEA-oireisiin. (Heikura ym. 2022) Energiensaannin mittaaminen vaatii osallistujalta suurta vaivaa, ja vaikka hän olisi täysin yhteistyökykyinen, ali- ja yliarvioinnit ovat mahdollisia (Schaal ym. 2021). Loucksin (2004) mukaan naiset herkästi aliraportoivat energiensaantiaan. Lisäksi liikuntaan käytetty energiankulutus ei huomioi päivän muuta fyysistä aktiivisuutta (*non-exercise activity thermogenesis*, NEAT). Tällä on vaikutusta varsinkin niihin urheilijoihin, joilla tulee työ- tai opiskelumatkaliikuntaa tai joilla on fyysinen työ. (Heikura ym. 2022)

LEAn arviointiin on ehdotettu EI:n ja EEE:n arvioinnin sijaan ennemmin objektiivisempia muuttujia, joihin kuuluvat muun muassa veren leptiini, IGF-1, luun muodostuksen ja resorption parametrit sekä kilpirauhashormoni T_3 :n pitoisuudet (Heikura ym. 2022). Matalaa energiansaataavuutta on arvioitu myös kortisolilla, insuliinilla, β -hydroksibutyraatilla ja glukoosipitoisuuksilla (Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003). Yksittäisten hormonien tai molekyylien mittauksilla ei kuitenkaan voida sanoa varmasti, että kyseessä olisi energiavaje, sillä näiden normaalit vaihteluvälit väestössä ovat suuret verrattuna energiavajeeseen vaikutuksiin (Loucks 2004). Matalaa energiansaataavuutta on arvioitu myös kyselyillä, kuten LEAF-Q:lla (*Low Energy Availability in Female Questionnaire*) (Melin ym. 2014). Jurovin ym. (2022)

tutkimuksessa, jossa tutkittavat olivat mieskestävyysurheilijoita, tutkijat pohtivat, että LEAlle ei ole tiettyä kynnyksarvoa, vaan ennemmin laajempi vaihteluväli, jossa terveys, suorituskyky sekä psykologiset tekijät muuttuvat energiansaataavuuden mukaan. Tutkijat ehdottavat, että tämä LEAn vaihteluväli olisi alhaisempi miehillä kuin naisilla. Naisten korkeampaa vaihteluväliä perustellaan hedelmällisyyden turvaamisen vuoksi (Bronson 1985).

2.2 Matalan energiansaataavuuden prevalenssi ja yhteydet vähäiseen hiilihydraattien saantiin

Urheilijoilla sopivan energiansaataavuuden hallinta voi olla haasteellista. Loucks (2004) yhteenveti tutkimuksista, että elimistöllä ei ole automaattista mekanismia, kuten nälkä, sovittamaan energiansaantia riittäväksi lihasten energiankulutukseen. Schaalín ym. (2021) tutkimuksessa osallistujat saivat syödä vapaasti oman nälkänsä tai halunsa pohjalta. Tutkijat huomasivat, että ylikuormitusjaksoon heikosti sopeutuneiden ryhmällä ei ollut spontaaneja lisäyksiä energiansaannissa ja tästä johtuivat negatiiviset muutokset energiansaataavuudessa sekä hormonaalisissa häiriöissä. Neljän viikon ylikuormitusjakson jälkeinen kahden viikon kevennysjakso ei palauttanut huonosti ylikuormitusjaksoon sopeutuvien juoksusuoritusta ylikuormitusjaksoa edeltävällekkään tasolle, vaan suoritus jäi heikommaksi. Kettunen ym. (2021) havaitsivat tutkimuksessaan nuorilla naishiittäjillä harjoitusleirin aikana, että yli puolella tutkittavista energiansaataavuus oli alle optimaalisen, ja yli kolmasosalla oli LEA leirin aikana. Tässäkin tutkimuksessa osallistujat saivat syödä oman nälkänsä pohjalta.

Loucksin (2013) mukaan matala energiansaataavuus voi olla seurausta vähäisestä hiilihydraattien saannista. Myös Schaalín ym. (2021) tutkimuksessa hiilihydraattien epäiltiin olevan tärkeä tekijä siinä, sopeutuivatko kestävyysjuoksijanaiset hyvin vai huonosti ylikuormitusjaksoon. Hyvin sopeutuvat lisäsivät energiansaantiaan pääsääntöisesti hiilihydraattien avulla. He ajattelivat, että hiilihydraatit ylläpitävät paremmin glukoosi- ja leptiinipitoisuuksia veressä. Myös Tinsley ym. (2019) epäilivät tapaustutkimuksensa pohjalta naisfitnessurheilijan voiman heikkenemiseen syyksi vähäistä hiilihydraattien saantia dieetin aikana. Hiilihydraattien puutteen on myös ajateltu olevan syynä suorituskykytekijöihin, sillä ne toimivat varsinkin korkeilla intensiteeteillä aineenvaihdunnan substraatteina. Mikäli matalaa energiansaataavuutta epäillään syyksi suorituskyvyn heikentymiseen, tulisi myös lihasglykokeenin määrä huomioida. (Melin ym. 2023)

Hiilihydraattien tarve joukkuepalloilijoilla on 5–7 g/kg/vrk (Terveurheilija s.a.). Tästä palloilijoiden riittävästä hiilihydraattien saannista on kuitenkin poikkeavia suosituksia eri puolilla maailmaa. Reedin ym. (2014) tutkimuksessa urheilijat eivät päässeet suosituksiin, mikäli hiilihydraattien saanti jäi alle ACSM:n (American College of Sport Medicine) suosituksen 6–10 g/kg/vrk. Braunin ym. (2018) tutkimuksessa tavoitetasoon taas ei päästy mikäli hiilihydraattien saanti jäi alle 5–10 g/kg/vrk. Condon ym. (2019) tutkimuksessa hiilihydraattien riittävä saanti riippui päivän aktiivisuudesta. Mikäli urheilu oli kohtuukuormitteista ja kesti tunnin, suositus oli 5–7 g/kg/vrk. Jos suoritus taas oli pidempi kestoista kohtuukuormitteista tai intensiivistä, suositus oli 6–10 g/kg/vrk. Aiemmissä tutkimuksissa naispalloilijoilla vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys on vaihdellut 31–96 %:n välillä ja suhteellinen hiilihydraattien saanti on vaihdellut 3–8 g/kg/vrk välillä (Braun ym. 2018; Condo ym. 2019; Reed ym. 2014). Taulukko kaksi havainnollistaa aiemmin mainittuja.

TAULUKKO 2. LEAn yleisyys, hiilihydraattien saanti ja vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys palloilijanaisilla aiemmissä tutkimuksissa.

Tutkijat, vuosi	Tutkittavien lukumäärä, n	Laji	LEA yleisyys, %	HH saanti, g/kg/vrk	Vähäinen HH saanti, %
Zabriskie ym. 2019	20	Haavipallo	n. 100	3,3±1,1	N/A
Zanders ym. 2021	13	Koripallo	0	3,3–4,0	N/A
Braun ym. 2018	56	Jalkapallo	53	3,2–8,4	31
Condo ym. 2019	30	Australialainen jalkapallo	30	3	96,3
Reed ym. 2014	19	Jalkapallo	26 pre-season, 33 mid-season	7±1 pre-season, 5±1 mid-season	47 pre-season, 73 mid-season
Woodruff & Meloche 2013	10	Lentopallo	20	N/A	N/A
Magee ym. 2020	18	Jalkapallo	67	3,3±0,7	N/A

HH, hiilihydraatti; LEA, matala energiansaataavuus (*low energy availability*); mid-season, kauden puoliväli; N/A, ei saatavilla; pre-season, ennen kauden alkua.

2.3 Matalan energiansaataavuuden yhteydet terveyteen ja suorituskykyyn

Matala energiansaataavuus voi ilmetä tahattomasti tai tarkoituksella monissa eri urheilulajeissa. LEA on seurausta epätasapainosta EI:n ja EEE:n välillä. (Melin ym. 2023) Hyvin suunniteltu ja tarkkailtu kohtuullinen LEA voi parantaa kehonkoostumusta sekä tehopainosuhdetta, jolloin

suorituskykyä voidaan kohentaa tietyissä urheilulajeissa (Melin ym. 2023). Schaalin ym. (2021) tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että ylikuormitusjaksoon heikosti sopeutuneilla rasvamassa ei vähentynyt, vaikka heidän EA:nsa aleni. Tutkijat havaitsivat päälöydöksensä lisäksi, että kestävyysharjoittelun aikaansaamat harjoitusvasteet olivat parempia kuntoilijoilla, jotka saivat ravinnostaan enemmän energiaa. Hyvin harjoitteluun sopeutuneiden ryhmällä havaittiin kasvua energiansaannissa keskimäärin 184 kcal/vrk verrattuna ryhmään, joka sopeutui harjoitteluun heikosti. Tutkijat kuitenkin pohtivat voisiko tämä kasvu olla mittausvirhe ravinnon ali- tai yliarvioinnin vuoksi. (Schaal ym. 2021)

Matalalla energiansaataavuudella voi olla monia negatiivisia vaikutuksia fysiologisesti ja psykologisesti sekä mies- että naisurheilijoilla. Negatiiviset vaikutukset voivat kohdistua muun muassa hormonitoimintaan, sydän- ja verenkiertoelimistöön, aineenvaihduntaan, lisääntymiskykyyn, immuunijärjestelmään, henkiseen hyvinvointiin sekä käytökseen. Nämä taas voivat johtaa vaikutuksiin terveydessä, harjoitusadaptaatioissa sekä suorituskyvyssä suorasti, kuten alentuneena voimana ja kestävyys suorituskykyynä, tai epäsuorasti, esimerkiksi heikentyneenä harjoitusvasteena. Pitkään jatkuneena alhainen energiansaataavuus urheilijoilla voi johtaa suhteellisen energiavajeen oireyhtymään (*relative energy deficiency in sport syndrome*, REDs.). (Melin ym. 2023) Miehillä tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että mieliala ja suorituskyky, varsinkin räjähtävä teho, ovat uhattuina ennen terveyttä. Heidän tutkimuksessaan havaittiin, että mitä alhaisempi EA oli, sitä nopeammin mitattavat parametrit muuttuivat, mutta tehoa mitattaessa kevennyshypyillä jo 25 %:n lasku EA:ssa vaikutti negatiivisesti suoritukseen. (Jurov ym. 2022)

Luteinisoiva hormoni (LH) on yksi naisten kuukautiskiertoa säätelevistä hormoneista. LH:n erittyminen vaihtelee syklisesti kuukautiskierron eri vaiheissa ja nämä vaihtelut ovat välttämättömiä normaalin kuukautiskierron aikaansaamiseksi. (Hall & Hall 2021, 1028–1029) LH:n pulssitaajuuden on havaittu alenevan matalan energiansaataavuuden vuoksi naisilla (Loucks 2004) ja siksi sitä käytetään usein tarkasteltaessa alhaista energiansaataavuutta. Loucksin ja Thuman (2003) tutkimuksessa energiansaataavuuden aleneminen alle 30 kcal/kg FFM/vrk vaimensi LH:n pulssitaajuutta, mutta energiansaataavuuden ollessa 30 kcal/kg FFM/vrk muutosta LH:ssa ei havaittu. Loucks (2004) mukaan urheilijat voivat välttyä kuukautishäiriöiltä, kun he ylläpitävät energiansaataavuutensa yli 30 kcal/kg FFM/vrk. Schaalin ym. (2021) tutkimuksessa kuitenkin huomattiin useiden kestävyysjuoksijanaisten ylläpitävän alle 30 kcal/kg FFM/vrk energiansaataavuutta ilman häiriöitä kuukautiskierrossa. Näillä

urheilijoilla kuitenkin havaittiin lyhyempi luteaalivaihe, minkä tutkijat ajattelivat johtuvan vähäisemmästä estradiolin erittymisestä ja sen vaikutuksesta LH-pulssiin. Tutkijat korostivat yksilöllisiä eroja ja pohtivat lisätutkimuksen tarvetta EA-kynnysten määrittämiseen.

3 VOIMAHARJOITTELUN AIKAANSAAMAT HARJOITUSVASTEET

Voimaharjoittelun tarkoituksena on kehittää tai ylläpitää urheilusuoritus- ja toimintakykyä sekä ylläpitää ja edistää terveyttä ja hyvinvointia. Progressiivisella ja jaksotetulla voimaharjoittelulla, jossa haastavuutta lisätään sarjoilla, toistoilla tai vastuksen muutoksilla, voidaan saavuttaa voiman, tehon ja lihaskoon kasvua, eli hypertrofiaa. Terveysshyötyjä ovat muun muassa lepoverenpaineen aleneminen, veren rasvaprofiilin kohentuminen sekä insuliiniherkkyyden paraneminen. Hyvin koostettu voimaharjoitteluohjelma edistää kaikkia edellä mainittuja ja voi korostaa yhtä tai useampaa niistä. Voimaharjoittelu voidaan jakaa kestävyys-, maksimi- ja nopeusvoimaan. (Fleck & Kraemer 2014, 1-2, 6-8)

Tässä kappaleessa käsitellään voimaharjoitteluvasteita voiman kasvun sekä kehon koostumuksen muutosten osalta. Alaluvuissa käsitellään tässä kandidaatintutkielmassa oleelliset kompleksivoimaharjoittelun vaikutukset harjoitteluvasteisiin. Tarkemmin perehdytään maksimaalista voimantuottoa mittaavaan isometriseen jalkojen ojennukseen jalkaprässillä sekä räjähtävää voimantuottoa mittaavaan kevennyshyppyyn.

Voimaharjoittelu edistää sekä miesten, että naisten voiman kasvua (Kell 2011), ja kehitystä tapahtuu sekä harjoittelemattomilla (Chilibeck ym. 1997) että jo aiemmin voimaharjoitelleilla (Kell 2011). Voiman kehitystä voi tapahtua koko harjoittelujakson ajan (Chilibeck ym. 1997; Kell 2011; Vikmoen ym. 2016), mutta aiemmalla harjoittelulla voi olla vaikutusta voimankasvun suuruuteen (Kell 2011). Kellin (2011) kahdentoista viikon periodisoidussa voimaharjoittelututkimuksessa aiemmin yksitoista kuukautta voimaharjoitelleilla naisilla voimankasvu harjoittelujakson aikana mitatuissa moninivelliikkeissä, kuten jalkakyykyssä, oli keskiarvoisesti 38 % ja miehillä 28 %. Tutkija pohti, että aiempi yhdentoista kuukauden voimaharjoittelujakso on voinut naisilla olla enemmän laiteharjoittelua, jolloin vapailla painoilla saatiin suurempaa kehitystä miehiin verrattuna, jotka saattoivat jo aiemmin tehdä voimaharjoittelua vapailla painoilla.

Voimaharjoittelulla saadaan kehitystä naisten kehonkoostumukseen siten, että rasvaton kehon massa lisääntyy ja kehon rasvamassa vähenee (Kelley ym. 2001). Rasvattoman massan kasvu näyttäisi olevan riippuvainen voimaharjoitteluliikkeen tyypistä. Yhden nivelen liikkeissä, kuten hauiskäännössä ja yhden jalan ojennuksissa, rasvattoman massan kasvu voi tapahtua jo harjoittelujakson alussa (Chilibeck ym. 1997; Stefanaki ym. 2019). Moninivelliikkeissä, kuten

penkkipunnerruksessa ja jalkaprässissä, rasvattoman massan kasvun on tutkimuksissa huomattu tapahtuvan vasta harjoittelujakson jälkimmäisellä puoliskolla. Syyksi tähän on epäilty sitä, että moninivelliikkeissä kehitys on alussa pääsääntöisesti hermostollista, mikä viivästyttää lihaksen hypertrofiaa. (Chilibeck ym. 1997; Kell 2011)

Naisurheilijoilla on havaittu samansuuntaisia tuloksia voimaharjoitteluintervention jälkeen. Lentopalloilijanaisilla havaittiin merkitsevää maksimivoimankehitystä kahdeksan viikon voimaharjoitteluintervention jälkeen kyykyssä, penkkipunnerruksessa, maastavedossa ja pystypunnerruksessa. Urheilijoiden käden- ja reidenympärykset kasvoivat merkitsevästi harjoittelujakson aikana. (Arazi ym. 2018) Naispuolisilla kestävyysurheilijoilla yhdentoista viikon yhdistetyssä voimaharjoittelututkimuksessa alaraajojen maksimaalisissa voimatasoissa havaittiin merkitsevää kehitystä harjoitusjakson aikana yhden jalan jalkaprässissä ja puolikyykyssä. Heillä sekä tyypin 1 että tyypin 2 lihassolujen poikkipinta-alat kasvoivat merkitsevästi tutkimuksen aikana. (Vikmoen ym. 2016)

Maksimivoiman, rasvattoman kehonmassan ja voimaharjoittelutilan suhteet ovat monimutkaisia, mikä huomattiin Garthen ym. (2011) voimaharjoitteluinterventiossa, jossa pudotettiin painoa joko hitaalla tai nopealla tahdilla. Tutkimuksessa urheilijat suorittivat voimaharjoittelua neljä kertaa viikossa muun harjoittelunsa lisäksi. Tutkijat huomasivat, että intervention jälkeen, kuin myös kuuden ja kahdentoista kuukauden jälkeen, vain hitaan painonpudotuksen ryhmällä maksimivoimatasot ylävartalossa säilyivät, vaikka rasvattoman kehon massan osuus palasi lähtötasolle.

3.1 Kompleksivoimaharjoittelu

Voima- ja tehoharjoittelua voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Kompleksi- ja kontrastivoimaharjoittelussa - termejä käytetään tutkimuksissa osittain sekaisin - yhdistetään voima- ja teho- tai plyometriaohjoittelu. Cormierin ym. (2020) systemaattisen katsauksen ja meta-analyysin kategorisoinnin mukaan peräkkäisissä liikkeissä suoritettava harjoittelu on kompleksivoimaharjoittelua ja harjoittelu, jossa voimaharjoittelua seuraa tehoharjoittelu on kontrastiharjoittelua.

Yhdistetyllä voima- ja tehoarjoittelulla pyritään kehittämään voimaa parantamalla lihassolujen rekrytoitumista ja mahdollistamaan tämä nopea voiman tuottaminen (Adams ym. 1992). Voimantuottonopeuden ja tehontuoton on kuitenkin havaittu kehittyvän myös pelkällä raskaalla voimaharjoittelulla (Aagaard ym. 2002) tai pelkällä plyometriaarjoittelulla (Bogdanis ym. 2019). Kompleksivoimaharjoittelussa tarkoituksena kuitenkin on, että raskas voimaharjoittelu edesauttaa tehoyhtälön ($P = F \times v$) voimaosuuteen ja nopeusharjoittelulla kehitetään yhtälön nopeusosiota hermostollisen kehittymisen myötä (Bogdanis ym. 2019). On kuitenkin pohdittu, että urheilijoilla tulisi olla saavutettuna riittävä voimataso, ennen kuin he voivat maksimoida tehontuottohyödyt sisällyttämällä voimaharjoitteluohjelmaansa plyometrisia, ballistisia sekä kompleksi- ja kontrastiharjoituksia (Haff ja Nimphius 2012).

Kompleksivoimaharjoittelusta ja sen yhteyksistä kehonkoostumukseen on vähän tutkimuksia. MacDonald ym. (2012) yliopistoikäisillä aktiivisilla nuorilla miehillä tehdyssä kuuden viikon voimaharjoitusinterventiossa kompleksivoimaharjoittelulla havaittiin samankaltaisia kehonkoostumuksellisia muutoksia kuin pelkällä voimaharjoittelulla tai pelkällä plyometrisellä harjoittelulla. Merkitseviä muutoksia tutkimuksessa havaittiin muun muassa etureiden lihasten (*quadriceps*) ympäräsmittan kasvussa. Tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu kehon painossa merkittäviä muutoksia intervention alun ja lopun välillä millään ryhmällä. Kompleksivoimaryhmä oli ainoa, jonka rasvaprosentissa ei tapahtunut muutoksia harjoittelujakson aikana, kun toisilla ryhmillä rasvaprosentti kasvoi.

3.2 Kompleksivoimaharjoittelun vaikutukset voiman kehitykseen

Kompleksivoimaharjoittelulla on saatu kehitystä lihasvoimaan (Alemdaroğlu ym. 2013; Cormier ym. 2020; MacDonald ym. 2012; Qiao ym. 2022). Taulukkoon kolme on koottu kompleksivoimaharjoittelututkimuksia ja niissä saatuja adaptaatioita. Cormierin ym. (2020) meta-analyysissä sekä kontrasti- että kompleksivoimaharjoittelun havaittiin kehittävän alavartalon yhdentoiston maksimia, mutta kompleksivoimaharjoittelulla havaittiin hieman suurempaa kehitystä. Opiskelijoilla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kompleksivoimaharjoitteluintervention jälkeen kehitystä naisten taka- ja etureiden lihaksissa isokineettisissä mittauksissa. Kehitystä kuitenkin havaittiin myös niillä ryhmillä, jotka tekivät plyometrisen harjoittelun ennen tai jälkeen voimaharjoittelun. (Alemdaroğlu ym. 2013) Samanlaisia tuloksia on saatu nuorilla aktiivisilla yliopistoikäisillä miehillä, joilla

kompleksivoimaharjoittelun jälkeen saatiin merkitsevää voimankasvua alavartalon yhdentoiston maksimaalisissa testeissä. Muutokset eivät kuitenkaan eronneet verrokkiryhmistä, joissa tehtiin joko voimaharjoittelua tai plyometrista harjoittelua. (MacDonald ym. 2012)

TAULUKKO 3. Kompleksivoimaharjoittelututkimuksia ja niissä saatuja vasteita.

Tutkijat, vuosi	Tutkimusasetelma	Tutkittavien lukumäärä, n	Sukupuoli, N/M	Ikä	Laji, taso	Vasteet
Alemdaroğlu ym. 2013	Interventio 6 vk	24, *9	N ja M	21,6±2,3	Vapaaehtoisia opiskelijoita	CMJ, isokin. voima ↑
Faude ym. 2013	RCT 7 vk	16	M	22,5±2,5	Amatööri jalkapallo	Isomet. jalkaprässi, CMJ, DJ ↑
Fouré ym. 2010	RCT 14 vk	9	M	18,8±0,9	Urheilevia vapaaehtoisia	SJ, CMJ, RJ ↑
Hammami ym. 2019	Interventio 10 vk	*24	N	16,6	Käsipalloilijat	CMJ ↑
MacDonald ym. 2012	Interventio 6 vk	10	M	22,5±3,2	Aktiivisia opiskelijoita	Etureiden lihasten ympärys, 1 RM (kyykky, RDL, SCR) ↑
Mihalik ym. 2008	Interventio 4 vk	31, *20	N ja M	20	Lento-palloilijoita	CMJ ↑
Qiao ym. 2022	Interventio 8 vk	*10	N	23,6±2,2	Viisiottelijoita kokeneita RT ja plyo	1 RM kyykky, CMJ, SJ, IMTP, RSI ↑

CMJ, kevennyshyppy (*counter movement jump*); DJ, pudotushyppy (*drop jump*); IMTP, *isometric mid-thigh pull*; isokin., isokineettinen; isomet., isometrinen; M, miehet; N, naiset; plyo, plyometria harjoittelu; RCT, kokeellinen tutkimus (*randomized controlled trial*); RDL, romanialainen maastaveto (*romanian deadlift*); RJ, *reactive jump*; RT, voimaharjoittelu (*resistance training*); SCR, pohjenousut (*standing calf raise*); SJ, kyykkyhyppy (*squat jump*); RSI, *reaction strength index*; 1 RM, yhden toiston maksimi (*one repetition maximum*); * naisten osuus kaikista tutkittavista; ↑ kehitys.

Myös kokeneet urheilijat ovat kehittyneet kompleksivoimaharjoittelun seurauksena. Qiaon ym. (2022) tutkimuksessa kokeneet voima- ja plyometriaharjoitelleet naiset toteuttivat 8 + 8 viikon kompleksivoimaharjoittelun, jossa ensimmäisellä kahdeksalla viikolla oli voimaharjoittelujakso ja jälkimmäisellä yhdistetty voima- ja plyometriaharjoittelujakso, kompleksivoimaharjoittelumuotoisena. Jälkimmäisen puoliskon jälkeen urheilijoiden yhden toiston maksimikyyky, isometrinen *mid-thigh pull*, kevennyshyppy, kyykyhyppy sekä pudotushyppynä toteutettu reaktiivoimaindeksi paranivat merkitsevästi. Nuorilla käsipalloilijanaisilla yhden toiston maksimikyyky kehittyi kymmenen viikon progressiivisen kompleksivoimaharjoittelun seurauksena, mutta kehitys ei ollut merkitsevää (Hammami ym. 2019).

3.2.1 Kevennyshyppy

Kevennyshypyllä (*counter movement jump*, CMJ) voidaan mitata maksimaalista räjähtävää voimantuottoa ja suorituskykyä (Hulmi ym. 2017; Jurov ym. 2022; Kettunen ym. 2021; Schoenfeld ym. 2020). Yhdistetyllä kontrasti- tai kompleksivoimaharjoittelulla on saatu kehitystä vertikaalihypyn korkeuteen (Cormier ym. 2020). Naisilla tehdyssä tutkimuksessa, jossa voimaharjoittelu yhdistettiin tehoharjoitteluun vuorottelevissa liikkeissä, kevennyshyppy kehittyi tilastollisesti merkitsevästi (Alemdaroğlu ym. 2013). Samaa on huomattu nuorilla käsipalloilijanaisilla kymmenen viikon kompleksivoimaharjoittelun seurauksena (Hammami ym. 2019). Kehitystä on havaittu myös kokeneilla voima- ja plyometriaharjoitelleilla, jotka Qiaon ym. (2022) tutkimuksessa toteuttivat 8 + 8 viikon kompleksivoimaharjoittelujakson. Harjoittelujakson aikana tutkittavien kevennyshyppykorkeus kehittyi merkitsevästi.

Plyometrisellä harjoittelulla voidaan saada aikaan kehitystä voimantuottoon ja hyppykorkeuteen vähentämällä akillesjänteen häviökerrointa ja kasvattamalla jänteen jäykkyyttä, ilman muutosta jänteen poikkipinta-alassa (Fouré ym. 2010). Mihalikin ym. (2008) neljän viikon tutkimuksessa yhteensä 31 yliopistoikäistä nais- ja mieslentopalloilijaa kehitti hyppykorkeuttaan yhdistetyllä voima- ja plyometriaharjoitteilla. Puolet osallistujista olivat kompleksivoimaharjoitteluryhmässä, ja loput tekivät voimaharjoitukset ja plyometriaharjoitukset eri päivinä. Ryhmien välillä kehityksessä ei ollut eroja. Tutkijat epäilivät, että kehittyminen oli neuraalista ja pidempi harjoittelu olisi voinut saada aikaan myös kasvua lihaksen poikkipinta-alassa.

3.2.2 Jalkaprässi

Isometrisellä jalkaprässillä voidaan mitata maksimaalista tahdonalaista alaraajojen voimantuottoa (Hulmi ym. 2017; Stien ym. 2020). Miesjalkapalloilijoilla tehdyssä seitsemän viikon satunnaistetussa kontrolloidussa tutkimuksessa kompleksivoimaharjoittelua tehneiden joukossa huomattiin kehitystä isometrisessä jalkaprässissä (Faude ym. 2013). Kompleksivoimaharjoittelututkimuksissa voimantuottoa on kuitenkin mitattu useimmiten yhden toiston maksimikykyllä (Hammami ym. 2019; MacDonald ym. 2012; Qiao ym. 2022).

Stienin ym. (2020) tutkimuksessa havaittiin voimaharjoitelleilla naisilla, että harjoitteluvasteiden mittaaminen on spesifiä harjoitusmuodolle. Dynaamisia alaraajojen joko yhden tai moninivelliikkeiden voimaharjoituksia tehneillä ryhmillä voima kehittyi paremmin siinä liikkeessä, mitä he itse tekivät kahdentoista viikon harjoittelujakson aikana. Näitä liikkeitä olivat yhden tai kahden jalan ojennukset ja koukistukset. Heidän voimakapasiteettiaan mitattiin myös isometrisellä jalkaprässillä, mutta siinä ei havaittu eroja ryhmien välillä edes kontrolliryhmään verrattuna.

4 ENERGIANSAAATAVUUDEN JA VOIMAHARJOITTELUVASTEIDEN YHTEYDET

Tutkimuksia energiansaatavuuden yhteyksistä voimaharjoitteluvasteisiin löytyy niukasti. Energiansaantia on useimmiten hyödynnetty tutkimuksissa, kun ravinto on ollut mitattavana parametrina. Miehillä ja naisilla alhainen energiansaanti tai -saatavuus aiheuttavat osittain erilaisia vaikutuksia urheilusuorituskykyyn. Taulukkoon neljä on koottu energiansaatavuuden tai -saannin ja harjoitteluvasteiden yhteyksiä.

TAULUKKO 4. Energiansaatavuuden tai -saannin ja harjoitteluvasteiden yhteyksiä.

Tutkijat, vuosi	Tutkimuksen kesto, EA/EI	Tutkittavien lukumäärä, n	Suku- puoli, N/M	Ikä	Laji, taso, voimaharjoittelun osuus	Vasteet
Garthe ym. 2011	4–12 vk, EI	23, *14	N ja M	18–35	Eri lajien urheilijoita, voimaharjoittelu 4 x vk	LBM (naiset) ↑, 1 RM: penkkipunnerrus, bench-pull, kyykky ↑, miehillä ↔
Hulmi ym. 2017	19.8 ± 3.6 dieetti + 17.5 ± 2.6 palautus, EI	*27	N	27.2 ± 4.1	Fitnessurheilijoita	CMJ ↔, isometrinen jalkaprässi ↔, isometrinen penkkipunnerrus ↓
Langan-Evans ym. 2020	8 vk dieetti + 1 vk ad libitum, EA	1	M	19	Kamppailulaji	Takakyykky ↑ penkkipunnerrus ↑
Kettunen ym. 2021	5 vrk, EA	*19	N	15–17	Maastohiihto, pääosin kestävyyttä, mukana myös voimaharjoittelua	CMJ ↓
Schaal ym. 2021	4 vk 30 % ylikuormitus + 2 vk 50 % palautus, EA	*16	N	25–30	Kestävyysjuoksijoita mukana myös voimaharjoittelua osalla	Heikon EA:n urheilijoilla RUN _{perf} ↓

Schoenfeld ym. 2020	8–12 kk, 7 kk valmistautuminen + 1 kk kilpailujen väli + 4 kk palautuminen, EI	1	M	25	Fitnessurheilija	Isometrinen reiden ojennus ↑, CMJ ↓
Tinsley ym. 2018	34 vk, 18 vk valmistautuminen + 7 vk kilpailujen väli + 9 vk palautuminen, EI	*1	N	27	Fitnessurheilija	Isokineettinen maksimivoiman tuotto ↓, RFD ↓

Ad libitum, vapaa syöminen; EA, energiansaataavuus (*energy availability*); EI, energiansaanti (*energy intake*); CMJ, kevennyshyppy (*counter movement jump*); LBM, rasvaton kehon massa (*lean body mass*); RFD, voimantuottonopeus (*rate of force development*); RUN_{perf}, juoksuvoimallisuus (*running performance*); * naisten määrä; ↓ heikennys; ↑ kehitys; ↔ ei muutosta.

Garthen ym. (2011) tutkimuksessa usean eri lajin edustajat pudottivat painoaan joko nopealla (1,4 % BM) tai hitaalla (0,7 % BM) tahdilla energiansaantia muokaten. He tekivät voimaharjoittelua neljä kertaa viikossa normaalin lajiharjoittelunsa lisäksi. Tutkimuksessa oli mukana sekä naisia että miehiä. Nopean painonpudotukset osallistujat eivät kehittyneet maksimaalista voimantuottoa mittaavissa testeissä, joita olivat yhden toiston maksimaalinen penkkipunnerrus, *bench-pull* sekä kyykky. Hitaan painonpudotuksen ryhmällä kehitystä tapahtui penkkipunnerruksessa sekä kyykyssä. Sukupuolten välisessä tarkastelussa miehet eivät kehittyneet millään mittarilla, mutta naiset kehittyivät molemmissa ryhmissä kaikissa yhden toiston maksimaalisissa voimantuottotesteissä ja saivat lisättyä rasvatonta kehon massaansa.

Hulmin ym. (2017) tutkimuksessa fitnessurheilijanaisilla noin 20 viikon dieetillä ei ollut negatiivisia vaikutuksia harjoitusadaptaatioihin isometrisessä jalkaprässissä tai räjähtävää voimantuottoa mittaavassa kevennyshypyssä, kehitystä näissä ei myöskään tapahtunut. Dieetti kuitenkin vaikutti negatiivisesti urheilijoiden isometriseen penkkipunnerrustulokseen. Urheilijoiden energiansaanti väheni dieetin aikana noin 23 %, ollen alussa keskimäärin 37 kcal/kg ja dieetin aikana keskimäärin 30 kcal/kg. (Hulmi ym. 2017) Tinsleyn ym. (2019) yhtä naisfitnessurheilijaa koskevassa tapaustutkimuksessa urheilijan isokineettinen konsentrinen voimantuotto, isometrinen käden puristusvoima sekä voimantuottonopeus heikkenivät kilpailuihin mennessä ja jäivät palautusjakson jälkeenkin alkua heikommiksi.

Yksittäisten miesurheilijoiden tapaustutkimuksissa tulokset ovat olleet erilaisia verrattuna naisurheilijoihin. Miesfitnessurheilijan tapaustutkimuksessa, joka kesti kahdeksan kuukautta kilpailuun valmistautuen ja neljä kuukautta palautuen, urheilijan maksimaalinen isometrinen reiden ojennus kehittyi kilpailuun valmistautuessa, mutta kevennyshyppy heikkeni. Neljän kuukauden palautusjakson jälkeenkin maksimaalinen isometrinen reiden ojennus oli vuodentakaiseen nähden parempi, mutta CMJ korkeus oli edelleen alkua heikompi. (Schoenfeld ym. 2020) Langan-Evansin ym. (2021) tutkimuksessa seurattiin kahdeksan viikon ajan miesurheilijaa, joka valmistautui kamppailulajikilpailuun ja pudotti painoaan. Hänen arvioitu keskimääräinen EA:nsa oli 20 kcal/kg FFM/vrk. Urheilijan voimatasot maksimaalisessa takakykyssä ja penkkipunnerruksessa kehittyivät painonpudotusjakson aikana suhteellisesti 18–19 % ja absoluuttisesti 6–9 %. Edellä mainitut tulokset osoittavat, että energiansaataavuuden tai -saannin aleneminen aiheuttaa naisilla herkemmin heikennystä suorituskykyyn, kun taas miehillä suorituskyky voi jopa kehittyä.

Kettusen ym. (2021) nuorilla hiihtäjänaisilla tehdyssä tutkimuksessa, jossa urheilijat olivat viiden vuorokauden raskaalla harjoitusleirillä, havaittiin yhteys kevennyshypyn hyppykorkeudella ja ravitsemuksella. Heidän tutkimuksessaan EA:lla ja CMJ:llä oli negatiivinen trendi. Heidän tutkimuksensa osoittaa jo lyhyen energiavajeen saavan aikaan heikennystä lihasten suorituskykyyn. Heikennys kevennyshypyssä ei kuitenkaan ollut merkitsevä, kun ne urheilijat, joilla havaittiin kyselyn perusteella pitkäaikaista energiavajetta, karsittiin pois. Yhteenvetona voitaisiin todeta, että lyhytaikainen energiavaje ei välttämättä aiheuta heikennystä suorituskykyyn, mutta pitkäaikaisena energiavaje rajoittaa suorituskykyä, eli energiavajeen pituudella on merkitystä.

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimuskysymys 1: Kuinka paljon naispaloilijoilla esiintyy matalaa energiansaataavuutta ja liian vähäistä hiilihydraattien saantia?

Hypoteesi ja perustelut: Keskimääräisesti naispaloilijoiden matalan energiansaataavuuden yleisyys tutkimuksissa on ollut 37 %. Vaihteluväli on kuitenkin ollut suuri, ollen 0–100 %. (Braun ym. 2018; Condo ym. 2019; Magee ym. 2020; Reed ym. 2014; Woodruff & Meloche 2013; Zabriskie ym. 2019; Zanders ym. 2021) Vähäistä hiilihydraattien saantia tutkimuksissa naispaloilijoilla esiintyy 31–96 %:n välillä (Braun ym. 2018; Condo ym. 2019; Reed ym. 2014). Terveurheilija (s.a.) sivuston mukaan joukkuepaloilijoilla hiilihydraattien tarve on 5–7 grammaa painokiloa kohden vuorokaudessa. Tutkimuksissa oli useammin kerrottu hiilihydraattien saannin keskiarvo, mikä oli alle suosituksen, toisin kuin vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys. Voisi siis olettaa, että keskimääräisesti yleisyys on lähempänä 96 %.

Tutkimuskysymys 2: Onko kuuden viikon voimaharjoitusinterventiolla vaikutusta naispaloilijoiden suorituskykyyn?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Tutkimuksissa on havaittu suorituskyvyn kehitystä kompleksivoimaharjoitteluintervention jälkeen naisilla kevennyshypyssä (Alemdaroğlu ym. 2013; Hammami ym. 2019; Mihalik ym. 2008; Qiao ym. 2022) ja maksimivoiman tuottamisessa (Alemdaroğlu ym. 2013; Hammami ym. 2019; Qiao ym. 2022).

Tutkimuskysymys 3: Onko kuuden viikon kompleksivoimaharjoitusinterventiolla vaikutusta naispaloilijoiden kehonkoostumukseen?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Voimaharjoitteluintervention seurauksena naisilla rasvaton kehonmassa kasvaa ja rasvamassa vähenee (Arazi ym. 2018; Kelley ym. 2001; Vikmoen ym. 2016). Aiempia tutkimuksia kompleksivoimaharjoittelusta ja naisten kehonkoostumuksesta ei ole, mutta miespuolisilla tutkittavilla kompleksivoimaharjoitteluintervention jälkeen on havaittu samankaltaisia kehonkoostumuksellisia muutoksia kuin pelkällä voimaharjoittelulla (MacDonald ym. 2012).

Tutkimusongelma 4: Onko energiansaataavuus ja hiilihydraattien saanti yhteydessä voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Naisille optimaaliseksi energiansaatavuudeksi on määritelty 45 kcal/kg FFM/vrk tai enemmän (Loucks & Thuma 2003) ja matala energiansaataavuus voi johtaa heikennyksiin harjoitusvasteissa esimerkiksi alentuneena voimatasona (Melin ym. 2023). Aiemmat tutkimustulokset ovat kuitenkin osittain ristiriitaisia, lisäksi tutkimuksia voimaharjoittelusta ja alhaisesta energiansaataavuudesta löytyy niukasti. Energiansaannin ollessa matalaa on saatu kehitystä voimaan (Garthe ym. 2011). On myös havaittu, että voimaharjoitteluvasteet eivät ole kehittyneet, mutteivat heikentyneetkään (Hulmi ym. 2017). Tapaustutkimuksessa taas havaittiin, että voimaharjoitusvasteet heikkenivät alhaisen energiansaannin seurauksena (Tinsley ym. 2019). Joukkuepallolijoilla hiilihydraattien tarve on 5–7 g/kg/vrk (Terveurheilija s.a.) ja vähäistä hiilihydraattien saantia on epäilty taustasyiksi siihen, että voimaharjoitteluvasteet eivät ole kehittyneet (Tinsley ym. 2019).

6 MENETELMÄT

Tutkimusaineisto on kerätty hyödyntäen naisurheilijoille toteutetun IRsauna-projektin tutkimusaineistoa. IRsauna-projekti on osa kylmävesihoidon ja infrapunasaunan säännöllisen käytön vaikutus nopeus- ja nopeusvoimaominaisuuksien kehittymiseen sekä autonomisen hermoston toimintaan ja unen laatuun -tutkimusta. Tutkimus on toteutettu Jyväskylän yliopistossa ja se on saanut tutkimuseettiseltä toimikunnalta hyväksyvän lausunnon (1516/13.00.04.00/2021). Saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina sekä vertailtavina, sillä tulokset on kerätty hyödyntäen samoja mittauslaitteita standardiohjeistuksineen.

6.1 Tutkimusasetelma

Tutkittaville suoritettiin tutkimuksen alussa ja lopussa aamu- ja suorituskykymittaukset. Lisäksi tutkittavat pitivät ruoka- ja harjoittelupäiväkirjaa tutkimuksen alussa ja/tai lopussa kolmen päivän ajan. Mittausten välissä suoritettiin kuuden viikon kompleksivoimaharjoitteluinterventio. Aamumittauksiin kuului punnitus ja DXA-mittaus (*dual energy X-ray absorptiometry*, DXA). Suorituskykymittauksissa tutkittavilta mitattiin kevennyshyppy sekä maksimaalinen isometrinen jalkojen ojennus.

Kompleksivoimaharjoittelu toteutettiin 2–3 kertaa viikossa. Harjoitteluun kuului alkulämmittely ja voimaosio, joka oli progressiivisesti kehittyvä. Progressiivisuus harjoitteluun tuli sarjojen ja kuorman nousuna viikoille kolme ja neljä. Muut viikot olivat intensiteetiltään kevyempiä. Ohjeistuksena urheilijoille sanottiin, että toistot tuli tehdä mahdollisimman räjähtävästi ja taukojen tuli olla riittävän pitkiä.

6.2 Tutkittavat

Tutkittavien joukko koostui 22 naisurheilijasta kolmesta eri palloilulajista, joita olivat futsal (n=11), jääkiekko (n=3) ja koripallo (n=8). Tutkittavien taso vaihteli divaripelaajista kansallisen tason pelaajiin. Tutkittavat rekrytoitiin heidän joukkueistaan ottamalla yhteyttä valmennukseen tai joukkueenjohtoon. Tarkemmat perustiedot tutkittavista löytyvät taulukosta viisi.

TAULUKKO 5. Tutkittavien perustiedot (keskiarvo \pm keskihajonta).

	n	ikä	pituus (m)	paino (kg)	rasva%
Kaikki	22	21 \pm 4,7	1,66 \pm 0,07	64,3 \pm 8	28,4 \pm 6,2
Futsal	11	24 \pm 3,7	1,65 \pm 0,07	63,0 \pm 9	29,2 \pm 7,8
Jääkiekko	3	23 \pm 4,6	1,63 \pm 0,04	61,1 \pm 5	28,2 \pm 1,7
Koripallo	8	17 \pm 1,9	1,70 \pm 0,06	67,2 \pm 7	27,3 \pm 4,4

M, metri; kg, kilogramma; rasva%, rasvaprosentti.

6.3 Tutkimusaineiston keräys ja analysointi

Tutkimuksen aineistona käytettiin ruoka- ja harjoituspäiväkirjoja, kehonkoostumusmittausta sekä fyysisen suorituskyvyn testejä. Ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen avulla tarkasteltiin urheilijoiden energiansaantia, energiansaatavuutta sekä hiilihydraattien määrää. Suorituskyvyn mittareina tutkimuksessa toimi maksimaalinen alaraajojen voimantuotto isometrisellä jalkaprässillä, mikä mitattiin yliopiston valmistamalla laitteella, sekä räjähtävää voimantuottoa mittaava kevennyshyppy, mikä mitattiin HUR FP8 voimalevyllä. Tulokset analysoitiin laitteen omalla ohjelmistolla. Tutkimus toteutettiin kompleksivoimaharjoitteluinterventiona.

Ruoka- ja harjoittelupäiväkirja. Urheilijat täyttivät itsenäisesti ruokapäiväkirjaa kolmen päivän ajan. Ruokat kuvattiin ja ruoka-aineet kirjattiin MealLogger-sovellukseen, josta ruokat määrineen siirrettiin Fineli-järjestelmään käyttäen apuna Terveiden ja hyvinvoinninlaitoksen annoskuvakirjaa (2014). Finelistä saatiin energiansaanti, ruoka-aineiden makro- ja mikroainejakauma. Ohjeistuksena urheilijoille neuvottiin ajoittamaan päiväkirjan täyttö viikolle, jolla ruokailu vastaa yksilölle tyypillistä ruokailurytmiä ja harjoituksiin on osallistuttu normaalisti. Ruokapäiväkirjan ohkeen urheilijat täyttivät myös harjoituspäiväkirjaa, johon kirjattiin tehtyjen harjoitusten kesto ja sisältö. Harjoitusten kuormittavuudet määriteltiin suositeltujen MET-arvojen (Ainsworth ym. 2000) avulla. Harjoitusten kuormittavuuden ja ruokapäiväkirjan avulla laskettavan energiansaannin avulla saatiin urheilijoiden energiansaatavuus. Analysoinnissa hyödynnettiin Excel-taulukkoa.

Kehonkoostumusmittaus. Kehonkoostumuksen määrittäminen tehtiin hyödyntäen kaksiennergistä röntgensäteiden absorptiometriä (*dual energy X-ray absorptiometry, DXA*). Saaduista tuloksista tarkastelussa olivat naisurheilijoiden paino (kg), rasvamassa (kg),

rasvaprosentti sekä rasvaton kehon massa (*fat free mass*, FFM). Tutkimuksessa hyödynnetty laite oli Lunar Prodigy DXA (GE Lunar Prodigy Advance, Madison, WI, USA). Ennen mittausta urheilijat ohjeistettiin poistamaan korut ja muut metallia sisältävät esineet ja asusteet. Tutkimus suoritettiin alusvaatteisillaan. Luotettavuuden ja toistettavuuden lisäämiseksi mittaus tehtiin kymmenen tunnin paastotilassa ja edellisen päivän nesteensaanti tuli kirjata ja toistaa interventiojakson jälkimmäistä mittausta ennen. DXA-laitteeseen urheilija asettui merkityn keskiviivan päälle selinmakuulle jalkapohjat styroksista levyä vasten. Urheilijoiden tuli pitää kädet jännitetyssä tilassa kämmenet kohti vartaloa. Urheilijoita ohjeistettiin olemaan liikkumatta mittauksen aikana, mutta hengitystahti sai olla normaali. Paino mitattiin vaa'alla.

Isometrinen jalkojen ojennus. Voimapenkissä (valmistaja: Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellinen tiedekunta) tehtiin isometrinen jalkojen ojennus 107° polvikulmassa. Polvikulma mitattiin ensimmäisellä mittauskerralla oikeasta jalasta geniometrin avulla (*greater trochanter, lateral tibiofemoral joint space and lateral malleolus*) ja penkin asetukset kirjattiin muistiin, jolloin samaa asetusta käytettiin jälkimmäisissä mittauksissa. Suorituksen aikana tutkittavan oli tarkoitus työntää molemmilla jaloilla levyä mahdollisimman nopeasti ja suurella voimalla. Selän ja pakaroiden tuli pysyä koko suorituksen ajan kiinni penkissä. Kädet pitivät kiinni sivuilla olevista kahvoista koko suorituksen ajan. Tutkittavia kannustettiin verbaalisesti. Tutkittava teki vähintään kolme maksimaalista suoritusta, ja mikäli tulos parani viimeisellä, tehtiin vielä neljäs ja mahdollisesti viides suoritus. Suoritusten välissä tutkittavat saivat pitää minuutin tauon. Tulokset kirjattiin ylös laitteen näytöltä.

Kevennyshyppy. Dynaamista räjähtävää jalkalihasten voimantuottoa mitattiin kevennyshypyillä käyttäen voimalevyä (HUR FP8). Tutkittavia ohjeistettiin hyppäämään mahdollisimman korkealle ja räjähtävästi välittömästi kevennyksen jälkeen. Kevennyshyppy suoritettiin kädet lantiolla ja alastulon jälkeen polvet saivat koukistua. Tutkittavat suorittivat vähintään kolme suoritusta, mikäli tulos parani viimeisellä, suoritettiin vielä maksimissaan kaksi lisähyppyä. Suoritusten välillä oli 30–60 sekunnin tauko. Hyppykorkeus laskettiin lähtönopeuden perusteella, mikä saatiin HUR-ohjelmasta. Paras tulos huomioitiin.

6.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastolliset analyysit suoritettiin IBM SPSS Statistics 28.0.1.1 (15) ohjelmalla. Tuloksista testattiin normaalijakauma Kolmogorov-Smirnovin ja Shapiro-Wilkin testeillä. Muut tulokset paitsi rasvamassa, jalkaprässin muutos ja hiilihydraattien saanti olivat normaalisti jakautuneet. Normaalisti jakautuneille tuloksille suoritettiin parittainen T-testi, ja näistä tuloksista on raportoitu keskiarvo \pm keskihajonta. Rasvamassalle ja hiilihydraateille tehtiin ei-parametrinen testi ja tulokset on ilmoitettu mediaani \pm IQR. Normaalijakautuneille käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa ja rasvamassalle ja jalkaprässille Spearmanin korrelaatiokerrointa. Tilastollinen merkitsevyys määriteltiin $p < 0,05$.

7 TULOKSET

Matalaa energiansaataavuutta (EA < 30 kcal/FFM kg/vrk) esiintyi 9 %:lla tutkittavista. Kohtuullisen ja optimaalisen energiansaataavuuden esiintyvyydet olivat 55 ja 36 %. Energiansaataavuuden keskiarvo oli 43 kcal/kg FFM/vrk. Terveurheilija (s.a.) sivuston mukaan joukkuepallolijoilla hiilihydraattien tarve on 5–7 grammaa painokiloa kohden vuorokaudessa. Tutkittavilla hiilihydraattien saanti oli keskimäärin 3,4 g/kg/vrk ja vähäistä hiilihydraattien saantia esiintyi 96 %:lla tutkittavista, eroa lajien välillä ei juuri ollut. Taulukkoon kuusi on koottu alhaisen energiansaataavuuden yleisyys, hiilihydraattien saanti sekä alhaisen hiilihydraattien saannin yleisyys.

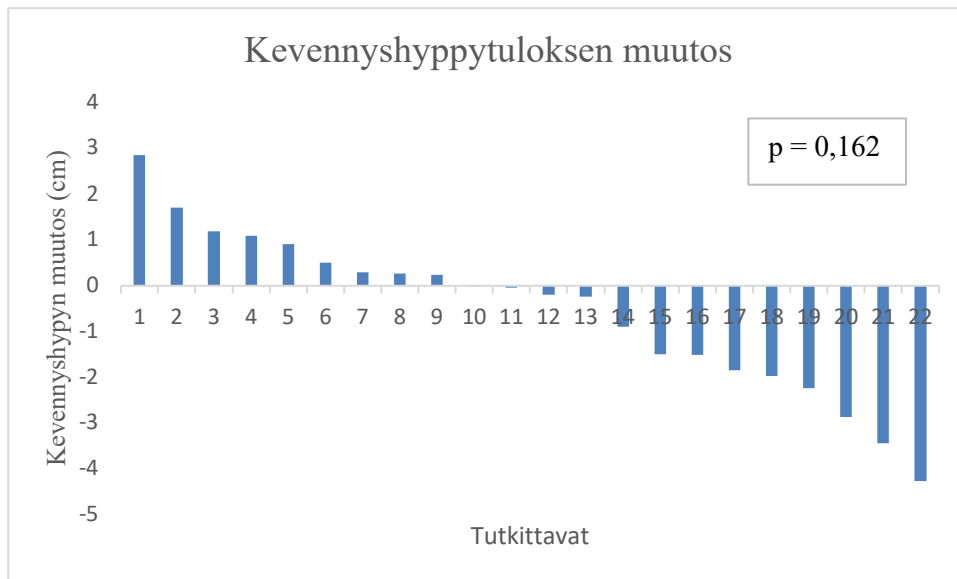
TAULUKKO 6. Tutkittavien LEAn yleisyys, hiilihydraattien saanti sekä vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys lajeittain (mediaani \pm IQR).

	n	LEAn yleisyys %	HH saanti g/kg/vrk	vähäinen HH saanti %
Kaikki	22	9	3,4 \pm 1,3	96
Futsal	11	9	3,3 \pm 1,2	91
Jääkiekko	3	33	3,8 \pm 0,4	100
Koripallo	8	0	3,6 \pm 1,4	100

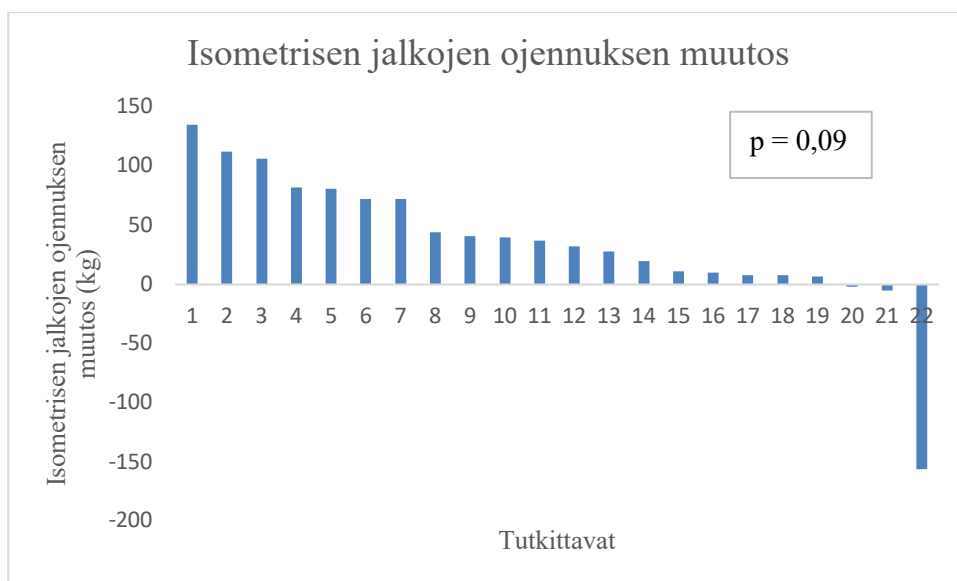
g, gramma; HH, hiilihydraatti; kg, kilogramma; LEA, matala energiansaataavuus (*low energy availability*); vrk, vuorokausi.

7.1 Voimaharjoitteluintervention vaikutukset suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen

Voimaharjoitteluinterventio ei vaikuttanut kevennyshyppytulokseen (pre 27,4 \pm 4,28 cm vs. post 26,9 \pm 4,4 cm, p=0,162), mutta isometrinen jalkojen ojennus kehittyi merkitsevästi (pre 343,3 \pm 81,7 kg vs. post 378,9 \pm 73,2 kg, p=0,009). Yksilölliset harjoitusvasteet on esitetty kuvissa 1 ja 2. Kehonkoostumuksessa havaittiin merkitsevä muutos rasvan massassa (pre 17,6 \pm 4,4 kg vs. post 17,9 \pm 5,3 kg, p=0,033) mutta ei kehon rasvattomassa massassa (pre 45,7 \pm 5,0 kg vs. post 46,0 \pm 4,8 kg, p=0,188).



KUVA 1. Yksilöllisen kevennyshyppytuloksen muutos harjoittelujakson aikana. Tutkittavat järjestetty kehityksen mukaiseen järjestykseen.

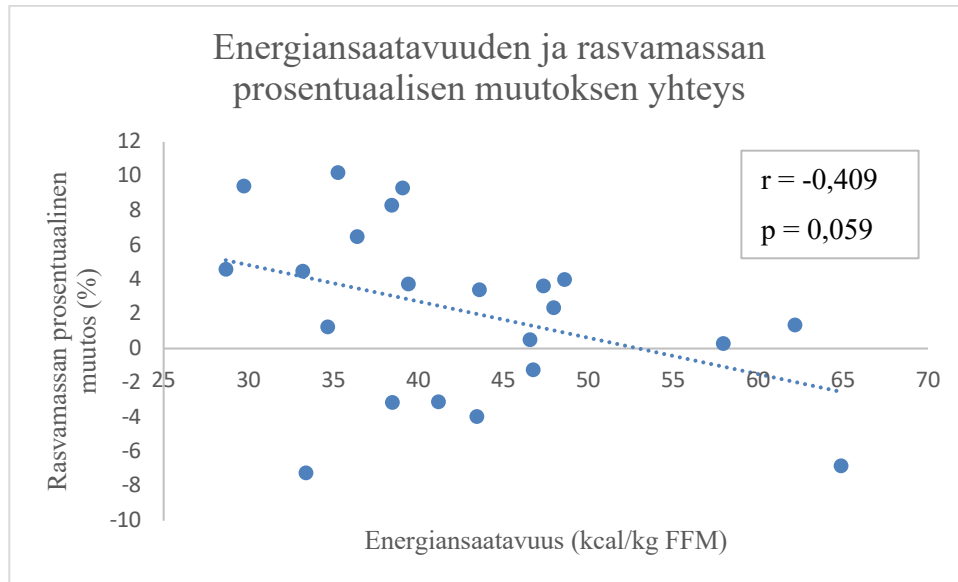


KUVA 2. Yksilöllisen isometrisen jalkojen ojennuksen muutos harjoittelujakson aikana. Tutkittavat järjestetty kehityksen mukaiseen järjestykseen.

7.2 Energiansaataavuuden ja hiilihydraattien saannin väliset yhteydet suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen

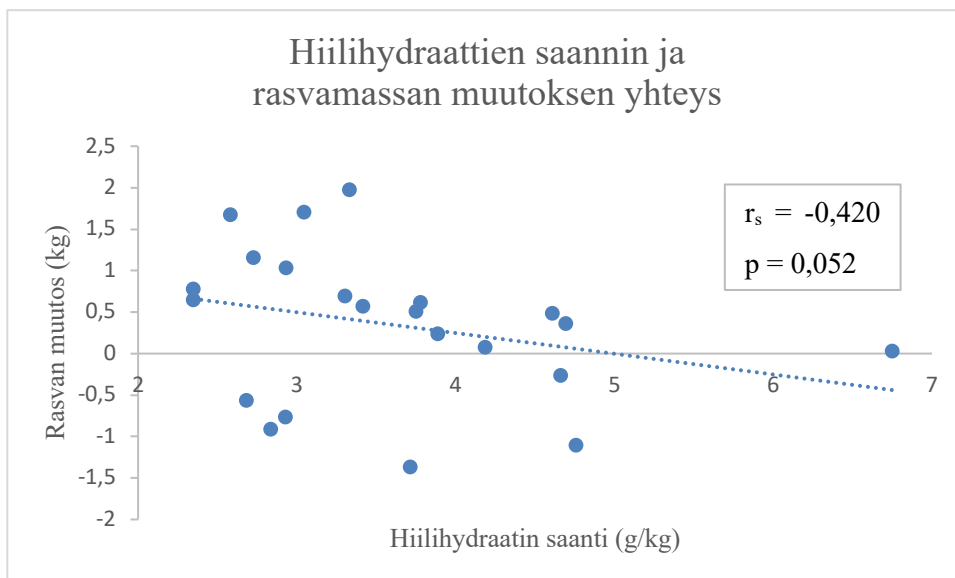
Energiansaataavuus ei ollut yhteydessä harjoitteluintervention aikaansaamiin muutoksiin kevennyshypyssä ($r=0,148$, $p=0,512$) eikä jalkaprässissä ($r_s=0,102$, $p=0,651$).

Energiansaatavuus ei ollut yhteydessä myöskään muutoksiin kehon kokonaismassassa ($r=-0,057$, $p=0,801$), rasvan massassa ($r=-0,308$, $p=0,163$), kehon rasvattomassa massassa ($r=0,220$, $p=0,325$) eikä lihassmassassa ($r=0,208$, $p=0,354$). Tilastollisessa tarkastelussa energiansaatavuuden ja intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvamassassa välillä havaittiin ei-merkittävä negatiivinen yhteys ($r=-0,409$, $p=0,059$) (kuva 3).

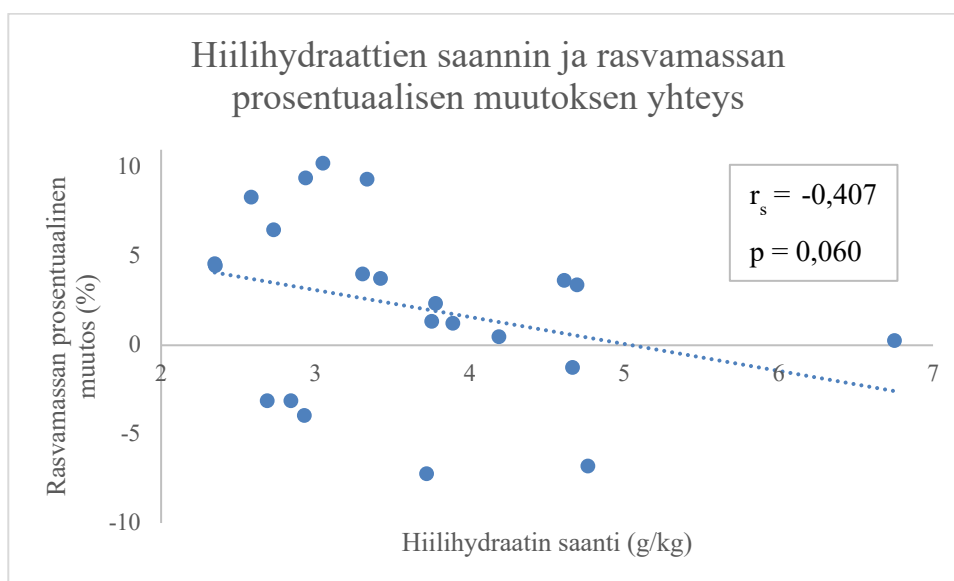


KUVA 3. Energiansaatavuuden ja rasvamassan prosentuaalisen muutoksen yhteydet yksilöllisessä tarkastelussa. Kcal, kilokalori; kg FFM, rasvaton painokilo.

Hiilihydraattien saanti ei ollut yhteydessä harjoitteluintervention aikaansaamiin muutoksiin kevennyshypyssä ($r_s=0,353$, $p=0,107$) eikä jalkaprässissä ($r_s=0,102$, $p=0,652$). Hiilihydraattien saanti ei ollut yhteyksissä myöskään muutoksiin kehon kokonaismassassa ($r_s=-0,034$, $p=0,879$), kehon rasvattomassa massassa ($r_s=0,224$, $p=0,316$) eikä lihassmassassa ($r_s=0,233$, $p=0,296$). Hiilihydraattien saannin ja kehon rasvan massassa havaittiin ei-merkittävä negatiivinen yhteys ($r_s=-0,420$, $p=0,052$) (kuva 4). Tilastollisessa tarkastelussa hiilihydraattien saannin ja intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvan massassa välillä havaittiin ei-merkittävä negatiivinen yhteys ($r_s=-0,407$, $p=0,060$) (kuva 5).



KUVA 4. Hiilihydraattien saannin ja rasvamassan muutosten yhteydet yksilöllisessä tarkastelussa.



KUVA 5. Hiilihydraattien saannin ja rasvamassan prosentuaalisen muutoksen yhteydet yksilöllisessä tarkastelussa.

8 POHDINTA

Matalaa energiansaatavuutta esiintyi 9 %:lla tutkittavista. Kohtuullista energiansaatavuutta oli 55 %:lla tutkittavista. Vähäistä hiilihydraattien saantia esiintyi 96 %:lla tutkittavista. Voimaharjoitteluintervention harjoitusvasteet näkyivät maksimaalista voimantuottoa mittaavassa isometrisessä jalkojen ojennuksessa, mutta eivät räjähtävää voimantuottoa mittaavassa kevennyshypyssä. Voimaharjoitteluinterventiolla oli merkitsevä yhteys palloilijoiden kehon rasvamassan kasvuun, mutta kehon rasvattomassa massassa ei havaittu muutosta. Energiansaatavuudella ei ollut yhteyttä voimaharjoitteluintervention harjoitusvasteisiin tai kehonkoostumukseen. Tilastollisessa tarkastelussa kuitenkin havaittiin ei-merkitsevä yhteys alhaisen energiansaatavuuden ja intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvan massassa välillä. Hiilihydraattien saanti ei ollut yhteyksissä harjoitteluintervention aikaansaamiin muutoksiin suorituskyvyssä tai kehon rasvattomassa massassa. Tilastollisessa tarkastelussa kuitenkin havaittiin hiilihydraattien saannin ja kehon rasvamassan välillä ei-merkitsevä negatiivinen yhteys sekä intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvanmassassa välillä ei-merkitsevä negatiivinen yhteys.

8.1 Matalan energiansaatavuuden ja vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys

Matalan energiansaatavuuden yleisyys. Matalan energiansaatavuuden ($EA < 30$ kcal/FFM kg/vrk) yleisyys tässä tutkimuksessa oli 9 %, kohtuullista energiansaatavuutta ($EA 30\text{--}45$ kcal/kg FFM/vrk) oli 55 %:lla tutkittavista ja optimaalista energiansaatavuutta ($EA > 45$ kcal/FFM kg/vrk) oli 36 %:lla tutkittavista. Tulos poikkeaa aiempien tutkimusten keskiarvosta, joissa naispalloilijoiden energiansaatavuutta on mitattu. Aiemmissä tutkimuksissa LEAn yleisyys on ollut keskimäärin noin 37 %, vaikka vaihtelua on ollut 0–100 %:n välillä (Braun ym. 2018; Condo ym. 2019; Magee ym. 2020; Reed ym. 2014; Woodruff & Meloche 2013; Zabriskie ym. 2019; Zanders ym. 2021). Suurin osa tutkittavista oli siis kohtuullisen tai korkean energiansaatavuuden puolella. Aiemmistä tutkimuksista poikkeavaan LEAn yleisyyteen voi olla monia syitä, joista osa voi liittyä EA:n määrittämisen haasteisiin. Energiansaatavuuteen vaikuttaa sekä energiansaanti että liikuntaan käytetty energiankulutus, jotka molemmat sisältävät mittaushaasteita (Heikura ym. 2022; Schaal ym. 2021).

Kolmen päivän harjoittelu- ja ruokapäiväkirja on lyhyt aika kuvaamaan urheilijan arkea, eikä se välttämättä anna todenmukaista kuvaa normaalista syömisestä tai urheilusta. Kuuden viikon jaksoa on voitu toteuttaa erilaisella päivittäisellä energia- ja/tai hiilihydraattimäärällä, kuin mitä ruokapäiväkirja antaa ymmärtää. Kettusen ym. (2021) mukaan harjoitus- ja ruokapäiväkirjat voivat kuitenkin olla tehokkaita keinoja havaita LEAn aiheuttamat suorituskykyongelmat. Tämän tutkimuksen kolmen päivän ruoka- ja harjoittelupäiväkirjat eivät kuitenkaan sovellu tähän, vaan tarvittaisiin pidempiaikaista seurantaa, jotta esimerkiksi harjoittelupäiväkirjasta voitaisiin nähdä trendiä suorituskyvyn kehityksestä. Vaihtelua normaaliin tai keskivertoon voi tuoda myös harjoituskauden tilanne. Tutkimusjaksoon on voinut osua useampi lepopäivä eikä välttämättä yhtään tai vain yksi harjoituspäivä, jolloin energiansaataavuudesta saadaan mahdollisesti totuutta positiivisempi kuva. LEAn yleisyys voisi olla erilainen, mikäli ruoka- ja harjoittelupäiväkirjat olisi validoitu kaikkien osalta sisältämään harjoittelua esimerkiksi vähintään kahdelle päivälle. Ruoka- ja harjoittelupäiväkirjan pito ohjeistettiin normaaliksi arjeksi, mutta on otettava huomioon esimerkiksi viikonlopun ja arkipäivien mahdolliset eroavuudet ruokailujen ja ruokien suhteen. Esimerkiksi herkuttelu tai huomattava urheilujuomien nauttiminen nostavat herkästi energiansaantia, jolloin myös energiansaataavuus kasvaa.

Ruokapäiväkirjoissa haastetta tuovat sekä sen täyttö että analysointi. Ruokapäiväkirjojen täytöstä tiedetään varsinkin naisten kohdalla, että aliraportointi on yleistä (Loucks 2004). Tutkimustuloksen osalta aliraportointi ei välttämättä ole ollut tässä tutkimuksessa niin yleistä, koska alhaista energiansaataavuutta oli vain 9 %:lla tutkittavista, mikä poikkeaa aiemmista tutkimuksista. Toisaalta optimaalisen EA:n puolella oli vain noin kolmasosa tutkittavista. Ruokapäiväkirjan täyttö vaatii kuitenkin osallistujalta vaivaa, eikä samaa tarkkuutta täyttämiseen voida odottaa jokaiselta. Ruokapäiväkirjan pito voi olla työlästä, jolloin osa ruoista jätetään syömättä tai kirjaamatta (Macdiarmid & Blundell 1998), mikä antaa virheellisen kuvan normaalista syömisestä. Tässä tapauksessa kuuden viikon harjoittelua on voitu toteuttaa erilaisella päivittäisellä energiamäärällä, kuin mitä ruokapäiväkirja antaa ymmärtää. Ruokapäiväkirjojen analysoinnissa kirjaamis- tai tulkintavirheet ovat myös mahdollisia, sillä kuvista ei pysty täysin tietämään annoksen kokoa. Esimerkiksi näppäilyvirhe Finelin täytössä on mahdollinen, ja on huomioitava, että analyysijä teki useampi henkilö. Burken ym. (2018) meta-analyysissä havaittiin noin 600 kilokalorin ero energiansaannissa todelliseen verrattuna muun muassa edellä mainittujen virheiden seurauksena. Lisäksi muut kuin itsevalmistetut ruoat

voivat sisältää erinäisiä ainesosia, jotka eivät näy päällepäin ja tällöin energiansaanti yksittäisissä valmistetuissa ruoissa voi vaihdella suuresti.

Liikuntaan käytetty energiankulutus sisältää myös haasteita. Tutkimuksessa käytettiin MET-arvoja kertomaan liikunnan rasittavuudesta. MET-arvot ovat suuntaa antavia eivätkä huomioi yksilöllistä vaihtelua energiankulutuksessa, jolloin todellista energiankulutusta ei voida tietää (Ainsworth ym. 2000). Liikuntaan käytetty energiankulutus ei myöskään huomioi päivän muuta aktiivisuutta, mitä voidaan pitää merkittävänä tekijänä energiansaataavuutta tutkiessa. NEATilla on vaikutusta varsinkin niihin urheilijoihin, joilla työ- tai opiskelumatkaliikuntaa tulee paljon, tai joilla on fyysinen työ (Heikura ym. 2022). NEATin vaikutus todelliseen energiansaataavuuteen voi olla huomattava, jolloin saatu EA-arvo voidaan ajatella jopa virheelliseksi. Esimerkiksi yksi urheilija voi voimaharjoittelupäivänään kulkea töihin pyörällä puoli tuntia suuntaansa, ja olla töissä seisten tai kulkien kahdeksan tuntia. Kun taas toinen urheilija voi pitää etäpäivän kotona istuen tietokoneen äärellä saman ajan ja myöhemmin osallistua samaan voimaharjoitukseen. Mikäli henkilöiden energiansaanti ja kehonkoostumus ovat samat, ajatellaan heidän energiansaataavuutensakin samaksi, vaikka toisella päivän muu aktiivisuus tuo ylimääräistä energiankulutusta eikä kehon fysiologisiin toimintoihin tällöin jäävä energiamäärä todellisuudessa ole sama.

Aiemmissa tutkimuksissa laskennallista suoraa menetelmä EA:n avulla tehtävään LEAn määrittämiseen on kritisoitu ja arviointiin on ehdotettu objektiivisempia muuttujia, joita voidaan mitata muun muassa verikokeilla (Heikura ym. 2022; Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003) tai kyselyillä, kuten LEAF-Q-kysely (Melin ym. 2014). Esimerkiksi LH:n on havaittu alenevan alhaisen energiansaataavuuden vuoksi jo muutaman päivän aikana kokeellisessa ympäristössä (Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003). Mikäli LEA olisi arvioitu toisin keinoin kuin laskemalle EI ja EEE, alhaisen energiansaataavuuden yleisyys voisi olla toinen ja lähempänä aiempien tutkimusten keskiarvoa. Tulevia tutkimuksia tehdessä voisikin olla järkevää hyödyntää myös toista mittaria LEAn arviointiin.

Vähäinen hiilihydraattien saanti. Tutkittavilla hiilihydraattien saanti oli keskimäärin 3,6 g/kg/vrk ja vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys oli 96 %, ilman eroa lajien välillä. Saatu tulos on yhtenevä aiempien naispalloilijoilla tehtyjen tutkimusten kanssa, joissa vähäisen hiilihydraattien saannin yleisyys on vaihdellut 31–96 %:n välillä ja suhteellinen hiilihydraattien saanti on vaihdellut 3–8 g/kg/vrk välillä (Braun ym. 2018; Condo ym. 2019; Reed ym. 2014).

Hiilihydraattien saanti jäi lähes kaikilla suosituksia vähäisemmäksi. On kuitenkin huomioitava, että hiilihydraattien saantisuosituksukset perustuvat kehon kokonaismassalle (Terveurheilija s.a.). Kettunen (2023) pohtikin väitöskirjassaan, että korkeamman rasvaprosentin urheilijoilla makroravinteiden tarve voi olla vähäisempää, sillä rasvamassa on inaktiivista kudosta. Keho on kuitenkin monimutkainen kokonaisuus ja on huomioitava, että rasvakudos erittää leptiiniä enenevässä määrin silloin, kun rasvan määrä kasvaa eli kun energiaa saadaan tarpeeksi, josta seuraa monia reaktioita kehossa, kuten kylläisyyden tunnetta tai energia-aineenvaihdunnan kiihtymistä (Hall & Hall 2022, 883). Vastakkainen ilmiö leptiinin pitoisuudessa nähdään silloin, kun energiansaataavuus alenee (Loucks 2004; Schaal ym. 2021). Rasvattoman massan tai rasvamassan määrää ei siis voida vähätellä, kun arvioidaan hiilihydraattien määrän tarvetta.

Tutkimuksessa ei tarkkailtu muiden energiaravintoaineiden jakaumaa. Ottaen kuitenkin huomioon, että energiansaataavuus oli yleisesti kohtuullisen tai korkean puolella, energiaa saatiin suhteessa, suosituksista poiketen, enemmän rasvoista ja proteiineista. Vähäiseen hiilihydraattien saantiin voi olla monia syitä. Näitä voivat olla esimerkiksi hiilihydraattien periodisointi tai painonpudotus (Burke ym. 2011). Myös sosiaalisella medialla voi olla vaikutusta, sillä ruokaan liittyvän sisällön on huomattu vaikuttavan ihmisten ruokavalioon (Hawks ym. 2020) sekä alitajuntaisiin valintoihin (Newell & Shanks 2014). Esimerkiksi painonpudotukseen tai fitnessurheiluun liittyy hiilihydraattien vähentämistä ja proteiinien lisäämistä ruokavalioon (Hulmi ym. 2017; Huovinen ym. 2015), jolloin tämän kaltaisen sisällön näkeminen voisi vaikuttaa ruokavalintoihin.

Matala energiansaataavuus ja vähäinen hiilihydraattien saanti on myös yhdistetty toisiinsa, eikä välttämättä voida tietää kummasta on kyse. Muun muassa Loucksin (2013) mukaan matala energiansaataavuus voi olla seurausta vähäisestä hiilihydraattien saannista. Schaal ym. (2021) mukaan riittävä hiilihydraatin saanti pitää yllä veren glukoosi- ja leptiinipitoisuuksia. Leptiinipitoisuuden mittaamisella on aiemmissa tutkimuksissa arvioitu myös energiansaataavuutta (Loucks, 2004; Loucks & Thuma, 2003), jolloin pohdintaa herättää, voidaanko tällä mittauksella kuitenkaan sanoa varmaksi, onko kyse vähäisestä hiilihydraattien saannista vai matalasta energiansaataavuudesta. Tästä voisi päätellä, että hiilihydraattien lisäys voi olla helpoin keino estää LEAa tai ainakin poissulkea siitä johtuvat syyt.

8.2 Voimaharjoitteluinterventio vaikuttaa naispallolijoiden suorituskykyyn

Voimaharjoittelun tai kompleksivoimaharjoittelun harjoitusvasteita voidaan tarkastella erilaisilla testeillä ja parametreilla. Tässä tutkimuksessa suorituskykyä mitattiin kevennyshypyillä ja isometrisellä jalkojen ojennuksella eli jalkaprässillä. Voimaharjoitteluinterventiolla ei saatu merkitsevää kehitystä kevennyshyppytulokseen. Isometrinen jalkojen ojennus kuitenkin kehittyi merkitsevästi harjoittelujakson aikana. Tulos poikkeaa osittain aiempiin tutkimuksiin verrattuna, joissa kompleksivoimaharjoittelulla on saatu kehitystä naisilla sekä kevennyshyppyyn että maksimaaliseen alaraajojen voimantuottoon (Alemdaroğlu ym. 2013; Qiao ym. 2022) tai vain kevennyshyppyyn (Hammami ym. 2019; Mihalik ym. 2008). Yksi kompleksivoimaharjoittelun tarkoituksista on kuitenkin saada kehitystä tehontuottoon, jota kevennyshypyillä voidaan mitata (Cormier ym. 2020).

Alaraajojen voiman kehittyminen oli odotusten ja aiempien tutkimustulosten mukaista (Alemdaroğlu ym. 2013; Cormier ym. 2020; Hammami ym. 2019; MacDonald ym. 2012; Qiao ym. 2022). Isometristä jalkojen ojennusta oli kuitenkin käytetty harvemmin tutkittaessa kompleksivoimaharjoitteluinterventio aikaansaamaa voimankehitystä, mutta tulos oli yhtenevä aiemman tutkimuksen kanssa (Faude ym. 2013). On kuitenkin havaittu, että harjoitteluvasteiden mittaaminen on spesifiä harjoitusmuodolle (Stien ym. 2020). Tämän tutkimuksen harjoittelujaksoon ei kuulunut isometristä voimaharjoittelua, mutta kehitystä havaittiin silti.

Harjoitustaustalla on voinut olla vaikutusta saatuihin tuloksiin. Tässä tutkimuksessa aiempaa voimaharjoittelutaustaa ei ollut määritelty, mutta voiman kehittymistä on kuitenkin havaittu sekä harjoittelemattomilla että aiemmin harjoitelleilla (Chilibeck ym. 1997; Kell 2011). Syynä siihen, miksi vain isometrinen jalkojen ojennus kehittyi, mutta CMJ ei, voi olla liian raskas harjoittelu ja siitä johtuva ylikuormittuminen. On havaittu, että raskailla kuormilla tehtävä voimaharjoittelu ilman riittävää palautumista ei näyttäisi vaikuttavan negatiivisesti maksimaaliseen voimaan, mutta tehon ja nopeuden suorituskyky heikkenevät (Meeusen ym. 2013). Lisäksi muusta harjoittelusta on voinut tulla kuormitusta, sillä pelikauden ajankohtaa ei ollut vakioitu. Vaikka voimaharjoitteluohjelma keveni loppumittauksia kohden, voi olla, että harjoittelu on silti ollut raskasta. Mikäli tutkittavat olivat kokemattomia voimaharjoittelijoita, kehittymistä kuuden viikon aikana voimaharjoitteluliikkeiden toteuttamiseen on voinut tulla. Tämä on voinut johtaa siihen, että viimeisilläkin viikoilla voimaharjoittelua on toteutettu

raskaammin kuin alussa tai harjoittelujakson puolivälissä, jolloin harjoittelun tuli olla raskainta. On lisäksi huomioitava, että Haffin ja Nimphiusin (2012) mukaan kompleksivoimaharjoittelun avulla saatavaa tehontuottoa voidaan lähteä optimoimaan vasta, kun riittävät voimatasot on saavutettu. Mikäli tutkittavat olivat kokemattomia tai vain vähän voimaharjoitelleita, voi olla, ettei tehontuoton optimointi kompleksivoimaharjoittelulla ollut hyödyllistä ja siksi kevennyshyppytulokset ei kehittyneet, vaikka voimatasot kasvoivat.

Alhaisemmalla rasvaprosentilla on havaittu yhteys korkeampaan kevennyshyppyyn (Huovinen ym. 2015). Tässä tutkimuksessa rasvamassa kasvoi tilastollisesti merkitsevästi. Tällä rasvamassan kasvulla on voinut olla vaikutusta siihen, että kevennyshyppy ei kehittyneet. Huovisen ym. (2015) tutkimuksessa rasvamassan väheneminen auttoi parantamaan hyppykorkeutta, joten nyt olleen tutkimuksen rasvamassan kasvu on voinut johtaa siihen, että kevennyshyppykorkeus ei kehittyneet. Koska tehopainosuhteella on merkitystä tietyissä lajeissa (Melin ym. 2023), ylimääräinen voimantuottoon vaikuttamaton massa voi luoda suuremman vaateen lihaksille kehon siirtämiseen.

Kevennyshypyn tuttuudella on voinut myös olla vaikutusta sen kehittymättömyyteen. On havaittu, että jo kokeneilla hyppyharjoitelleilla ei välttämättä saada suurta kehitystä tulokseen, verrattuna muihin lajeihin, joissa hyppääminen ei ole niin tuttua (Cormier ym. 2020). Koripallo voidaan laskea lajeihin, joissa hyppyharjoittelu on tuttua, ja koripalloilijoita tutkittavista oli noin kolmannes. Kokeneillakin hyppyharjoitelleilla on kuitenkin havaittu merkitseviä keskittason tuloksia hyppykorkeuden kehittymiseen kompleksivoimaharjoittelun seurauksena (Cormier ym. 2020). Kevennyshypyn tai hyppyharjoittelun tuttuutta ei kuitenkaan ollut määritelty tutkimuksessa. Lisäksi hyppyä harjoiteltiin kuuden viikon aikana, jolloin suoritusnopeuden voisi ajatella kehittyneen.

Kevennyksen syvyydellä on myös vaikutusta hypyn korkeuteen. Tarkemmin sanottuna kevennyshypyn korkeuteen vaikuttavat keskimääräinen eksentrisen voimantuottonopeus ja keskimääräinen konsentrisen voimantuotto sekä mahdollisimman lyhyt kevennysaika. Mitä nopeammin ja syvemmältä hyppy suoritetaan, sitä korkeampi hypystä tulee. (Laffaye ym. 2014) Kevennyksen syvyyttä ei ollut määritelty etukäteen, vaan tutkittavat saivat keventää hyppeä oman mieltymyksensä mukaisesti. Voi siis olla mahdollista, että kevennystä on tehty eri syvyyteen ja eri nopeuksilla alku- ja loppumittauksissa. Painoilla tehtävän voimaharjoittelun on

kuitenkin havaittu lisäävän liikelaaajuutta (Alizadeh ym. 2023), jolloin syvyyden ei voida olettaa olleen vajaampi loppumittauksissa ainakaan tästä syystä.

Testausajankohta oli vakioitu tutkittavilla, jolloin vuorokausivaihtelun merkitys tuloksiin on estetty. Palautuminen oli määritelty ennakkoon siten, että edellisen päivän tuli olla lepopäivä. Eroavaisuuksia mittauksissa on voinut kuitenkin olla ravinnon ja unen kanssa, joita ei ollut määritelty tai pyritty vakioimaan. Mahdollista on myös, että ohjeita ei ole noudatettu. Lisäksi motivaatiolla on voinut olla merkitystä. Myös kuukautiskierron vaiheella on voinut olla vaikutusta tuloksiin (Wikström-Frisén ym. 2017).

Hedelmällisessä iässä olevilla naisilla kuukautiskierto ja siitä johtuvat vaihtelut naishormonien pitoisuuksissa voivat vaikuttaa voimaharjoitteluun tai harjoitusvasteisiin. Esimerkiksi kasvuhormonin erityksen on huomattu olevan suurempaa myöhäisessä follikkulaarisessa vaiheessa, jolloin estrogeenitasot ovat korkeat ja progesteronitasot alhaiset. (Thompson ym. 2020) Wikström-Frisénin ym. (2017) tutkimuksessa havaittiin, että mikäli harjoittelu painottui kuukautiskierron alkuun ja keveni loppuvaiheessa, verrattuna päinvastaiseen, kevennyshyppy sekä isokineettinen reisien voima kehittivät merkittävästi. Päinvastaisella ryhmällä kehitystä ei havaittu, myöskään ehkäisyllä ei havaittu olevan vaikutusta tuloksiin. Kuukautiskierron alussa, eli follikkulaarisen vaiheen alussa sekä estrogeeni- että progesteronitasot ovat alhaiset, mutta estrogeenitasot nousevat kierron toiselle viikolle mennessä. Kierron loppuvaiheessa molempien hormonien pitoisuudet ovat korkeat. (Wikström-Frisén ym. 2017) Wikström-Frisénin ym. (2017) tutkimuksessa kuitenkin sekä reisien voima että kevennyshyppy kehittivät, joten johtopäätöksiä tähän tutkimukseen ei voida suoraan vetää. On kuitenkin huomioitava, että nyt olleessa tutkimuksessa raskaammat viikot sijoittuivat tutkimuksen puoliväliin viikoille kaksi ja kolme. Nämä viikot ovat voineet joillain tutkittavista osua juuri kuukautiskierron alkuun, jolloin kehitystä on saatu hyvin ja toisilla kuukautiskierron loppuun, jotka aiemman tutkimuksen pohjalta ovat heikommat harjoitusvasteita ajatellen. On myös huomioitava, että Wikström-Frisénin ym. (2017) tutkimus kesti neljä kuukautta, mikä on huomattavasti kuutta viikkoa pidempi aika. Nyt olleessa tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut huomioitu tutkittavien kuukautisstatusta tai hormonaalisen ehkäisyn käyttöä. Asia voidaan kuitenkin nostaa pohdintaa, vaikka aikaisempi tutkimus ei täysin tue tulosta.

Thompsonin ym. (2020) meta-analyysissä 17 tutkimuksen pohjalta tutkijat pohtivat, että kuukautiskierron ja harjoitusvasteiden yhteyksiä on vaikea todentaa muun muassa

tutkimuksissa olleiden pienten otantakokojen vuoksi. Tutkimuksissa ei välttämättä ollut mitattu estrogeeni- ja progesteronitasoja, jolloin kierron vaihetta ei tiedetty tarkasti, mikä on yhtenevää tämän tutkimuksen kanssa. Lisäksi ehkäisyä käyttävät ja luonnollisen kuukautiskierron omaavat oli joissain tutkimuksissa sekoitettu. Wikström-Frisénin ym. (2017) tutkimuksessa ehkäisyn käytöllä ei kuitenkaan havaittu vaikutusta, vaan merkityksellisempää oli se kuukautiskierron vaihe, jolloin harjoittelu oli raskaampaa. Tutkimusta aiheesta siis tarvitaan lisää, eikä yhteyksiä aiemman tutkimustiedon pohjalta voida vetää.

8.3 Voimaharjoitteluintervention vaikutukset naispaloilijoiden kehonkoostumukseen

Kompleksivoimaharjoitusinterventiolla havaittiin merkitsevä yhteys kehon rasvamassan kasvuun, muttei kehon rasvattoman massan muutoksiin. Aiempia tutkimuksia kompleksivoimaharjoittelun ja kehonkoostumuksen yhteyksistä ei löytynyt lukuun ottamatta yhtä, jossa miestutkittavilla alaraajojen ympärysmitat kasvoivat, ilman muutoksia painossa. Ympärysmitan kasvua havaittiin kuitenkin myös verrokkiryhmillä. (MacDonald ym. 2012) Nyt ollut tulos poikkeaa kuitenkin tavanomaisista hypertrofisista voimaharjoitusinterventioista, joissa naisilla rasvaton massa kasvaa ja rasvamassa vähenee (Chilibek ym. 1997; Kelley ym. 2001; Stefanaki ym. 2019).

Korkeampi rasvamassa voi olla adaptaatio pitkään jatkuneelle LEAlle. Energiavajeen on havaittu pitkään jatkuneena alentavan lepoenergiankulutusta urheilevilla naisilla (De Souza ym. 2007), johtuen elimistön sopeutuneista energiansäästötoimenpiteistä (Koehler ym. 2016). Naisurheilijoilla tehdyissä tutkimuksissa kuukautishäiriöt, alhainen energiansaanti ja alentunut lepoinvaihdunda on usein yhdistetty toisiinsa (De Souza ym. 2007; Koehler ym. 2016; Melin ym. 2015; VanHeest ym. 2014). Tästä esimerkkinä on Schaalin ym. (2021) tutkimus, jossa matala energiansaataavuus ei saanut aikaan rasvamassan vähenemistä. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan yleensä ole havaittu rasvamassan kasvua, vaikka energia-aineenvaihdunda olisi hidastunut. Poikkeuksena on VanHeestin ym. (2014) uimareilla tehty 12 viikon seurantatutkimuksessa, jossa korkeampi rasvamassa yhdistettiin tutkijoiden epäilyjen mukaan energiavajeisiin urheilijoihin.

Tutkimuksissa yleensä alhaisempi energiansaataavuus tai -saanti on yhdistetty alentuneeseen rasvamassaan tai -prosenttiin (Garthe ym. 2011; Hulmi ym. 2017; Langan-Evans ym. 2021;

Schoenfeld ym. 2020; Tinsley ym. 2019). Näissä tutkimuksissa energiansaantia tai -saatavuutta on kuitenkin tarkoituksen mukaisesti vähennetty. Nykyisessä tutkimuksessa ei voida tietää, onko energiansaatavuus ollut jo pidemmän aikaa samalla tasolla, alhaisempaa tai korkeampaa. Toisaalta tutkittavia on pyydetty syömään tavanomaisen ruokavalionsa mukaisesti, mutta kuten aiemmin on mainittu, kolmen päivän ruokapäiväkirja ei välttämättä anna todenmukaista tietoa ruokavaliosta.

Ajallisesti kuuden viikon voimaharjoitteluinterventio on voinut olla liian lyhyt aikaansaamaan muutoksia kehon rasvattomaan massaan. Vaikka naisilla on havaittu rasvattoman kehon massan kasvua voimaharjoittelun seurauksena (Kelley ym. 2001), huomioitavaa kuitenkin on, että rasvattoman kehon massan kasvu on riippuvainen voimaharjoitteluliikkeen tyypistä ja jakson pituudesta (Chilibeck ym. 1997). Aiemmissa naisilla toteutetuissa moninivelliikkeisissä voimaharjoittelututkimuksissa, joissa kestot olivat 12 ja 20 viikkoa, rasvattoman massan kasvua havaittiin vasta harjoittelujakson jälkimmäisellä puoliskolla, vaikka voiman kasvua havaittiin koko jakson ajan (Chilibeck ym. 1997; Kell 2011). Näihin verraten kuuden viikon voimaharjoittelujakso on lyhyt aika muutoksille kehon rasvattomassa massassa ja tämä voi olla syynä siihen, että rasvattoman kehon massan muutoksia ei havaittu harjoittelujakson aikana. Moninivelliikkeissä kehityksen on ajateltu olevan aluksi pääsääntöisesti hermostollista, mikä viivästyttäisi lihaksen hypertrofiaa (Chilibeck ym. 1997; Kell 2011). Myös Mihalik ym. (2008) epäilivät neljän viikon tutkimuksessaan hyppykorkeuden kehityksen yhdistetyllä voima- ja plyometriaharjoitteilla olevan neuraalista, sillä kehitystä lihasten poikkipinta-alassa ei havaittu.

8.4 Energiansaatavuuden ja hiilihydraattien saannin yhteydet voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin

Energiansaatavuuden yhteydet. Energiansaatavuus ei ollut yhteydessä harjoitteluintervention aikaansaamiin muutoksiin kevennyshypyssä eikä jalkaprässissä. Energiansaatavuus ei ollut yhteydessä myöskään muutoksiin kehonkoostumuksessa. Tilastollisessa tarkastelussa energiansaatavuuden ja intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvan massassa välillä kuitenkin havaittiin ei-merkittävä negatiivinen yhteys. Syyt yhteyksien puuttumiseen voivat liittyä jo aiemmin esille tuotuihin haasteisiin ja puutteisiin ruokapäiväkirjojen täytössä ja analysoinnissa sekä EA:n määrittämisessä.

Aiemman tutkimustiedon yhteys energiansaatavuuden tai -saannin ja harjoitusvasteiden osalta on ristiriitaista ja jokseenkin myös puutteellista, sillä optimaalisen energiansaatavuuden voimaharjoittelututkimuksia ei löytynyt. On havaittu, että matala energiansaatavuus tai energiansaanti aiheuttaa naisurheilijoilla kevennyshypyssä suorituskyvyn heikkenemistä (Kettunen ym. 2021) tai pitää sen ennallaan (Hulmi ym. 2017). Alaraajojen voimantuotossa alentuneella energiansaannilla on havaittu naisurheilijoilla sekä kehitystä (Garthe ym. 2011), ennallaan pysymistä (Hulmi ym. 2017) että heikennystä (Tinsley ym. 2019). Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan ollut tehty kompleksivoimaharjoittelua. Lisäksi moni tutkimuksista oli painonpudotus- tai fitness-tutkimuksia, jolloin tuloksia ei voida täysin yhdistää nykyiseen tutkimukseen tavoitteiden eroavaisuuden vuoksi. Aiemmista tutkimuksista voisi kuitenkin yhteenvedona todeta, että energiansaannin tai -saatavuuden ollessa alle optimaalisen, kehitystä tapahtuu vähemmän. Nyt olleessa tutkimuksessa yhteyttä EA:n ja suorituskyvyn välillä ei kuitenkaan havaittu.

Hiilihydraattien saannin yhteydet. Hiilihydraattien saanti ei ollut yhteydessä harjoitteluintervention aikaansaamiin muutoksiin kevennyshypyssä eikä jalkaprässissä. Hiilihydraattien saanti ei ollut yhteyksissä myöskään muutoksiin kehonkoostumuksessa, kuitenkin hiilihydraattien saannin ja kehon rasvan massassa havaittiin ei-merkittävä negatiivinen yhteys. Tilastollisessa tarkastelussa hiilihydraattien saannin ja intervention aikaansaaman prosentuaalisen muutoksen rasvan massassa välillä havaittiin myös ei-merkittävä negatiivinen yhteys. Hiilihydraattien saanti oli kuitenkin lähes kaikilla liian vähäistä, mikä on voinut tutkimuksen pienen otantakoon kanssa aiheuttaa yhteyden puuttumisen harjoitusvasteisiin.

Aiemmissa tutkimuksissa hiilihydraattien saannilla on ollut merkitystä suorituskykytekijöihin. Suorituskyvyn kannalta hiilihydraattien riittävä saanti on tärkeää, sillä ne toimivat varsinkin korkeilla intensiteeteillä pääenergianlähteenä, jolloin niiden vaikutus suorituskykytekijöihin on suuri (Melin ym. 2023). Esimerkiksi Schaalin ym. (2021) tutkimuksessa hiilihydraatteja pidettiin tärkeänä tekijänä siinä, sopeutuivatko kestävyysjuoksijanaiset hyvin vai huonosti ylikuormitusjaksoon. Myös Tinsleyn ym. (2019) tapaustutkimuksessa naisfitnessurheilijan voiman heikkenemisen syyksi epäiltiin vähäistä hiilihydraattien saantia dieetin aikana. Yhteyden puuttuminen hiilihydraattien ja harjoitusvasteiden välillä voi liittyä myös jo aiemmin mainittuihin haasteisiin ruokapäiväkirjan pidon kanssa.

Vähempi energinen (Melin ym. 2023) ja/tai vähähiilihydraattinen (Hashimoto ym. 2016) ruokavalio on yleensä yhdistetty rasvamassan alenemiseen, toisin kuin nyt olleessa tutkimuksessa. Hashimoton ym. (2016) meta-analyysissä vähähiilihydraattisen ruokavalion havaittiin merkitsevästi alentavan rasvamassaa, mutta tutkittavat olivat ylipainoisia henkilöitä, jotka poikkeavat urheilijoista. Koska yhteys on päinvastainen verrattuna aiempaan tutkimukseen, syynä voi olla aiemmin mainittu pidempään jatkunut energiavaje.

8.5 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet

Tutkimuksessa oli monia vahvuuksia ja se toi uutta tietoa naisurheilijoista. Tutkimuksia energiansaataavuuden yhteyksistä voimaharjoitteluvasteisiin on hyvin vähän, jolloin tämä tutkimus tuo uutta tietoa ja voi toimia innoittajana jatkotutkimuksia ajatellen. Lisäarvoa tutkimukselle tuo myös se, että tutkittavat olivat naisurheilijoita, joista on tehty vähemmän tutkimusta miesurheilijoihin verrattuna (Costello ym. 2014). Tutkimukseen osallistui 22 tutkittavaa, mikä on aiempiin tutkimuksiin nähden hieman korkeampi osallistujamäärä (Langan-Evans ym. 2020; Kettunen ym. 2021; Schaal ym. 2021), mitä voidaan pitää tutkimuksen vahvuutena. Tutkimuksen ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, onko energiansaataavuudella yhteyttä voimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin isometrisessä jalkojen ojennuksessa sekä kevennyshypyssä. Tutkimuksen aineistoa käytettiin myös sekundaariseen analyysiin, jossa tarkasteltiin kehonkoostumusta sekä hiilihydraattien saannin vaikutusta harjoitusvasteisiin ja kehonkoostumukseen. Tietoa kerrytettiin siis useammasta asiasta kerralla ja niiden yhteyksiä pystyttiin tarkastelemaan laajemmin. Yhdessä nämä tekijät lisäävät tutkimuksen vahvuuksia tutkimusaineiston monipuolisen hyödyntämisen myötä.

Tutkimus oli osa isompaa kokonaisuutta, mikä tuo sekä vahvuuksia että heikkouksia. Tutkimusasetelmana interventio on pitkittäistutkimus, jota voidaan pitää validina tarkasteltaessa syy-seuraussuhteita (Caruana ym. 2015). Isomman kokonaisuuden tutkimuksessa oli mukana enemmän tutkittavia sekä verrokkiryhmä. Tähän tutkimukseen kuitenkin valikoituivat ne henkilöt varsinaisesta tutkimusryhmästä, jotka tunnollisesti pitivät vähintään kolmena päivänä ruokapäiväkirjaa. Tunnolliset ruokapäiväkirjan pitäjät ovat voineet olla niitä henkilöitä, jotka ovat syöneet terveellisemmin, sillä epäterveellisiä ruokia jätetään herkemmin kirjaamatta (Macdiarmid & Blundell 1998). Mikäli ruokavalio koostui

pääsääntöisesti epäterveellisiksi koetuista ruoista, voi olla että ruokapäiväkirjaa ei ole sen vuoksi pidetty ollenkaan. Tämä on voinut tuoda tulokseen harhaa, eikä tulosta voida yleistää liiaksi koskemaan kaikkia palloilijanaisia tai naisurheilijoita.

Tutkimuksen vahvuuksiin kuuluivat myös aiemmin hyväksytyiksi todetut suorituskyvyn mittaustavat kevennyshypyillä (Hulmi ym. 2017; Jurov ym. 2022; Kettunen ym. 2021; Schoenfeld ym. 2020) ja isometrisellä jalkaprässillä (Hulmi ym. 2017; Stien ym. 2020), sekä kehonkoostumuksen mittaaminen DXAlla (Langan-Evans ym. 2021; Schaal ym. 2021). Mittausajankohtien vakioinnit vuorokauden aikojen suhteen lisäsivät tutkimuksen validiteettia, kuten myös ohjeistukset edellisen päivän nesteiden nauttimisesta ja kuormituksen vähentämisestä lepopäiväksi, sekä 10 tunnin paastosta ennen aamumittauksia. Vaikka ruokapäiväkirjaan liittyy virhelähteitä, voidaan kolmen päivän ruokapäiväkirjaa pitää parempana vaihtoehtona kuin esimerkiksi ruoankäyttökysely, mikä ei arvioi sen hetkistä energiansaantia vaan pidempiaikaista trendiä, ja johon muistilla on vaikutusta (Johnson 2002). Tutkimuksen heikkouksiin voi lukea jo aiemmin mainitut EA:n määrittämiseen liittyvät haasteet niin ruokapäiväkirjan kuin liikuntaan käytetyn energiankulutuksenkin osalta. Lisäksi on hyvä huomioda, että aiemman voimaharjoittelutaustan, pelikauden tilanteen tai kuukautisstatuksen vakioimattomuudella on voinut olla vaikutusta tuloksiin.

8.6 Johtopäätökset

Laskennallisesti määritelty energiansaataavuus ei ollut yhteyksissä kompleksivoimaharjoitteluintervention aikaansaamiin harjoitusvasteisiin naispalloilijoilla. Kompleksivoimaharjoitteluinterventiolla saatiin kuitenkin kehitystä palloilijanaisten maksimaaliseen isometriseen jalkojen ojennukseen, muttei kevennyshyppyyn. Voi olla, että kuuden viikon kompleksivoimaharjoittelu on liian lyhyt aika saamaan merkitseviä muutoksia kehon rasvattomaan massaan. Lisäksi hiilihydraattien saanti jäi palloilijanaisilla suosituksia vähäisemmäksi, mikä on voinut vaikuttaa merkitsevään rasvamassan kasvuun.

LEAn yleisyys saattoi olla suurempaa, kuin mitä tulokset osoittavat ja sitä olisi ollut hyvä mitata myös toisella parametrilla. Tämä voisi olla jatkotutkimuksissa huomioitava asia. Tulokset kevennyshyppyn ja rasvamassan osalta nimittäin vaikuttaisivat aiemman tutkimuksen perusteella siltä, että LEA on voinut olla yleisempää. Aiemmissa tutkimuksissa CMJ ei ole

kehittynyt tai on heikentynyt matalan energiansaataavuuden (Jurov ym. 2022; Kettunen ym. 2021) tai energiansaannin vuoksi (Hulmi ym. 2017; Schoenfeld ym. 2020). Aiempi tutkimus lisäksi osoittaa matalasta energiansaataavuudesta, että suorituskyyvyssä varsinkin räjähtävä voimantuotto on ensin uhattuna (Jurov ym. 2022). LEAn vuoksi myös rasvamassa on voinut kasvaa, kuten VanHeest ym. (2014) tutkimuksensa pohjalta epäilivät. Toisaalta rasvamassan kasvu on voinut olla syy siihen, että kevennyshyppy ei kehittynyt, sillä suurempi rasvamassa on yhdistetty heikompaan kevennyshyppykorkeuteen (Huovinen ym. 2015). Rasvamassan kasvu, poiketen aiempaan tutkimukseen nähden, jossa voimaharjoittelulla on saatu kohennettua kehon tehopainosuhdetta, viittaisi siihen, että alhaista energiansaataavuutta on ollut pidemmän aikaa ja keho on alkanut säästää energiaa, mikä näkyy rasvamassan kasvuna. Toisaalta LEA ja vähäinen hiilihydraattien saanti ovat myös yhteyksissä toisiinsa, eikä aina voida sanoa kummasta on kyse (Loucks 2013; Schaal ym. 2021), sillä hiilihydraatit toimivat urheilijoilla pääenergianlähteenä. Hiilihydraattien saanti oli lähes kaikilla liian vähäistä ja voikin olla, että hiilihydraattien vähyys on aiheuttanut sen, että kevennyshyppy ei kehittynyt ja rasvamassa kasvoi.

Tutkimuksia voimaharjoittelun ja energiansaataavuuden yhteyksistä on vähän ja tutkimusta aiheesta tarvittaisiinkin lisää. Samaa voidaan todeta naisurheilijoihin liittyvästä tutkimuksesta, jota on vähemmän kuin miehillä tehtyä tutkimusta (Costello ym. 2014). Energiansaataavuutta olisi hyvä mitata myös toisella mittarilla laskennallisen määrittelyn lisäksi, sillä laskennallinen tapa sisältää haasteita niin energiansaannin kuin energiankulutuksenkin osalta. Energiansaataavuuden määrittelyssä tulisikin huomioida myös päivän muu fyysinen aktiivisuus, jolloin todellinen kehonkäyttöön jäävä energia olisi todenmukaisempi. Menetelmän vakiointia tarvittaisiin.

Vaikka tässä tutkimuksessa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä suorituskyyvyn ja energiansaataavuuden välillä, ei yhteyttä voida täysin poissulkea. Tietoisuutta riittävästä energiansaannista ja hiilihydraattien tärkeydestä urheilijoille tulisi lisätä, sillä ne mahdollistaisivat urheilijana kehittymisen sekä tarvittaessa halutun tehopainosuhteen optimoinnin. Tutkimus toimii hyvänä lähtökohtana jatkotutkimuksille. Jatkotutkimuksissa EA:n määrittelyn lisäksi myös muu päivän fyysinen aktiivisuus voitaisi huomioida. Lisäksi pelikauden tilanteen, voimaharjoittelutaustan ja kuukautisstatusen voisi vakioida.

LÄHTEET

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P. & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318–1326. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2002>.
- Adams, K., O’Shea, J. P., O’Shea, K. L. & Climstein, M. (1992). The Effect of Six Weeks of Squat, Plyometric and Squat-Plyometric Training on Power Production. *Journal of Applied Science Research*, 6(1), 36–41.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O’Brien, W. L., Bassett, D. R., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, D. R. & Leon, A. S. (2000). Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(Supplement), S498–S516. <https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>.
- Alemdaroğlu, U., DüNDAR, U., Köklü, Y., Aşci, A. & Findikoğlu, G. (2013). The effect of exercise order incorporating plyometric and resistance training on isokinetic leg strength and vertical jump performance: A comparative study. *Isokinetics and Exercise Science*, 21(3), 211–217. <https://doi.org/10.3233/IES-130509>.
- Alizadeh, S., Daneshjoo, A., Zahiri, A., Anvar, S. H., Goudini, R., Hicks, J. P., Konrad, A. & Behm, D. G. (2023). Resistance Training Induces Improvements in Range of Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 53(3), 707–722. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01804-x>.
- Arazi, H., Khanmohammadi, A., Asadi, A. & Haff, G. G. (2018). The effect of resistance training set configuration on strength, power, and hormonal adaptation in female volleyball players. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 43(2), 154–164. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0327>.
- Bogdanis, G. C., Tsoukos, A., Kaloheri, O., Terzis, G., Veligekas, P. & Brown, L. E. (2019). Comparison Between Unilateral and Bilateral Plyometric Training on Single- and Double-Leg Jumping Performance and Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 633–640. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001962>.
- Braun, H., Von Andrian-Werburg, J., Schänzer, W. & Thevis, M. (2018). Nutrition Status of Young Elite Female German Football Players. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 157–167. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0072>.

- Bronson, F. H. (1985). Mammalian Reproduction: An Ecological Perspective. *Biology of Reproduction*, 32(1), 1–26. <https://doi.org/10.1095/biolreprod32.1.1>.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H. S. & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29(sup1), S17–S27. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>.
- Burke, L. M., Lundy, B., Fahrenholtz, I. L. & Melin, A. K. (2018). Pitfalls of Conducting and Interpreting Estimates of Energy Availability in Free-Living Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(4), 350–363. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0142>.
- Caruana, E. J., Roman, M., Hernández-Sánchez, J. & Solli, P. (2015). Longitudinal studies. *J Thorac Dis*. 7(11), E537-E540. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2015.10.63.
- Chilibeck, P. D., Calder, A. W., Sale, D. G. & Webber, C. E. (1997). A comparison of strength and muscle mass increases during resistance training in young women. *European Journal of Applied Physiology*, 77(1–2), 170–175. <https://doi.org/10.1007/s004210050316>.
- Condo, D., Lohman, R., Kelly, M. & Carr, A. (2019). Nutritional Intake, Sports Nutrition Knowledge and Energy Availability in Female Australian Rules Football Players. *Nutrients*, 11(5), 971. <https://doi.org/10.3390/nu11050971>.
- Cormier, P., Freitas, T. T., Rubio-Arias, J. Á. & Alcaraz, P. E. (2020). Complex and Contrast Training: Does Strength and Power Training Sequence Affect Performance-Based Adaptations in Team Sports? A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(5), 1461–1479. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003493>.
- Costello, J. T., Bieuzen, F. & Bleakley, C. M. (2014). Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *European Journal of Sport Science*, 14(8), 847–851. DOI: 10.1080/17461391.2014.911354.
- De Souza, M. J., Lee, D. K., VanHeest, J. L., Scheid, J. L., West, S. L. & Williams, N. I. (2007). Severity of energy-related menstrual disturbances increases in proportion to indices of energy conservation in exercising women. *Fertility and Sterility*, 88(4), 971–975. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2006.11.171>.
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L. & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1460–1467. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.796065>.

- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2014). *Designing Resistance Training Programs*. 4. painos. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fouré, A., Nordez, A. & Cornu, C. (2010). Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. *Journal of Applied Physiology*, 109(3), 849–854. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01150.2009>.
- Garthe, I., Raastad, T. & Sundgot-Borgen, J. (2011). Long-Term Effect of Weight Loss on Body Composition and Performance in Elite Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(5), 426–435. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.5.426>.
- Hall, J. E. & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14. painos. Philadelphia, PA: Elsevier.
- Haff, G. G. & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2–12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>.
- Hammami, M., Gaamouri, N., Aloui, G., Shephard, R. J. & Chelly, M. S. (2019). Effects of a Complex Strength-Training Program on Athletic Performance of Junior Female Handball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 163–169. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0160>.
- Hashimoto, Y., Fukuda, T., Oyabu, C., Tanaka, M., Asano, M., Yamazaki, M. & Fukui, M. (2016). Impact of low-carbohydrate diet on body composition: meta-analysis of randomized controlled studies. *Obesity Reviews*, 17(6), 499–509. <https://doi.org/10.1111/obr.12405>.
- Hawks, J. R., Madanat, H., Walsh-Buhi, E. R., Hartman, S., Nara, A., Strong, D. & Anderson C. (2020). Narrative review of social media as a research tool for diet and weight loss. *Computers in Human Behavior*, 111. doi.org/10.1016/j.chb.2020.106426.
- Heikura, I. (2021). *Suhteellinen energiavaje urheilussa. Teoksessa J. Mursu (toim.) Liikuntaravitsemus 3.0. Lahti: VK-Kustannus Oy, 17–41.*
- Heikura, I. A., Stellingwerff, T. & Areta, J. L. (2022). Low energy availability in female athletes: From the lab to the field. *European Journal of Sport Science*, 22(5), 709–719. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>.
- Hulmi, J. J., Isola, V., Suonpää, M., Järvinen, N. J., Kokkonen, M., Wennerström, A., Nyman, K., Perola, M., Ahtiainen, J. P. & Häkkinen, K. (2017). The Effects of Intensive Weight Reduction on Body Composition and Serum Hormones in Female Fitness Competitors. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00689>.

- Huovinen, H. T., Hulmi, J. J., Isolehto, J., Kyröläinen, H., Puurtinen, R., Karila, T., Mackala, K. & Mero, A. A. (2015). Body Composition and Power Performance Improved After Weight Reduction in Male Athletes Without Hampering Hormonal Balance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(1), 29–36. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000619>.
- Johnson, R. K. (2002). Dietary Intake—How Do We Measure What People Are Really Eating? *Obesity Research*, 10(sup1), S63-S68.
- Jurov, I., Keay, N. & Rauter, S. (2022). Reducing energy availability in male endurance athletes: a randomized trial with a three-step energy reduction. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 19(1), 179–195. <https://doi.org/10.1080/15502783.2022.2065111>.
- Kell, R. T. (2011). The Influence of Periodized Resistance Training on Strength Changes in Men and Women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 735–744. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c69f22>.
- Kelley, G. A., Kelley, K. S. & Tran, Z. V. (2001). Resistance Training and Bone Mineral Density in Women: A Meta-Analysis of Controlled Trials. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 80(1), 65–77. <https://doi.org/10.1097/00002060-200101000-00017>.
- Kettunen, O. (2023). Nutrition and Performance in Young Female Cross-Country Skiers. University of Jyväskylä, Faculty of Sport and Health Sciences 701. Väitöskirja. Viitattu 10.12.2023. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-9765-6>.
- Kettunen, O., Ihalainen, J. K., Ohtonen, O., Valtonen, M., Mursu, J. & Linnamo, V. (2021). Energy availability during training camp is associated with signs of overreaching and changes in performance in young female cross-country skiers. *Biomedical Human Kinetics*, 13(1), 246–254. <https://doi.org/10.2478/bhk-2021-0030>.
- Koehler, K., Williams, N. I., Mallinson, R. J., Southmayd, E. A., Allaway, H. C. M. & De Souza, M. J. (2016). Low resting metabolic rate in exercise-associated amenorrhea is not due to a reduced proportion of highly active metabolic tissue compartments. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 311(2), E480–E487. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00110.2016>.
- Kreider, R. B., Wilborn, C. D., Taylor, L., Campbell, B., Almada, A. L., Collins, R., Cooke, M., Earnest, C. P., Greenwood, M., Kalman, D. S., Kerksick, C. M., Kleiner, S. M., Leutholtz, B., Lopez, H., Lowery, L. M., Mendel, R., Smith, A., Spano, M., Wildman, R., ... Antonio, J. (2010). ISSN exercise & sport nutrition review: research &

- recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 7. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-7-7>.
- Laffaye, G., Wagner, P. P. & Tombleson, T. I. L. (2014). Countermovement Jump Height: Gender and Sport-Specific Differences in the Force-Time Variables. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 1096–1105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1db03>.
- Langan-Evans, C., Germaine, M., Artukovic, M., Oxborough, D. L., Areta, J. L., Close, G. L. & Morton, J. P. (2021). The Psychological and Physiological Consequences of Low Energy Availability in a Male Combat Sport Athlete. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(4), 673–683. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002519>.
- Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140518>.
- Loucks, A. B. (2013). Energy Balance and Energy Availability. Teoksessa R. J. Maughan (toim.), *The Encyclopaedia of Sports Medicine* (s. 72–87). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118692318.ch5>.
- Loucks, A. B. & Thuma, J. R. (2003). Luteinizing Hormone Pulsatility Is Disrupted at a Threshold of Energy Availability in Regularly Menstruating Women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(1), 297–311. <https://doi.org/10.1210/jc.2002-020369>.
- Macdiarmid, J. & Blundell, J. (1998). Assessing dietary intake: Who, what and why of under-reporting. *Nutrition Research Reviews*, 11(2), 231–253. <https://doi.org/10.1079/NRR19980017>.
- MacDonald, C. J., Lamont, H. S. & Garner, J. C. (2012). A Comparison of the Effects of 6 Weeks of Traditional Resistance Training, Plyometric Training, and Complex Training on Measures of Strength and Anthropometrics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 422–431. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318220df79>.
- Magee, M. K., Lockard, B. L., Zabriskie, H. A., Schaefer, A. Q., Luedke, J. A., Erickson, J. L., Jones, M. T. & Jagim, A. R. (2020). Prevalence of Low Energy Availability in Collegiate Women Soccer Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(4), 96. <https://doi.org/10.3390/jfmk5040096>.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2013). Prevention, Diagnosis, and Treatment of the Overtraining Syndrome: Joint Consensus Statement of the European College of Sport

- Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(1), 186–205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>.
- Melin, A. K., Areta, J. L., Heikura, I. A., Stellingwerff, T., Torstveit, M. K. & Hackney, A. C. (2023). Direct and indirect impact of low energy availability on sports performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, sms.14327. <https://doi.org/10.1111/sms.14327>.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Faber, J., Ritz, C., Sjödin, A. & Sundgot-Borgen, J. (2014). The LEAF questionnaire: a screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 540–545. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093240>.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Møller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., Sidelmann, J. J., Aziz, M. & Sjödin, A. (2015). Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25(5), 610–622. <https://doi.org/10.1111/sms.12261>.
- Mihalik, J. P., Libby, J. J., Battaglini, C. L. & McMurray, R. G. (2008). Comparing Short-Term Complex and Compound Training Programs on Vertical Jump Height and Power Output. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(1), 47–53. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815eee9e>.
- Newell, B. R. & Shanks, D. R. (2014). Unconscious influences on decision making: Critical review. *Behavioral and Brain Sciences* 38(01), 1-19. doi:10.1017/s0140525x12003214.
- Qiao, Z., Guo, Z., Li, B., Liu, M., Miao, G., Zhou, L., Bao, D. & Zhou, J. (2022). The effects of 8-week complex training on lower-limb strength and power of Chinese elite female modern pentathlon athletes. *Frontiers in Psychology*, 13, 977882. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.977882>.
- Reed, J. L., De Souza, M. J., Kindler, J. M. & Williams, N. I. (2014). Nutritional practices associated with low energy availability in Division I female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1499–1509. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.908321>.
- Schaal, K., VanLoan, M. D., Hausswirth, C. & Casazza, G. A. (2021). Decreased energy availability during training overload is associated with non-functional overreaching and suppressed ovarian function in female runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 46(10), 1179–1188. <https://doi.org/10.1139/apnm-2020-0880>.
- Schoenfeld, B. J., Alto, A., Grgic, J., Tinsley, G., Haun, C. T., Campbell, B. I., Escalante, G., Sonmez, G. T., Cote, G., Francis, A. & Trexler, E. T. (2020). Alterations in Body Composition, Resting Metabolic Rate, Muscular Strength, and Eating Behavior in

- Response to Natural Bodybuilding Competition Preparation: A Case Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(11), 3124–3138. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003816>.
- Stefanaki, D. G. A., Dzulkarnain, A. & Gray, S. R. (2019). Comparing the effects of low and high load resistance exercise to failure on adaptive responses to resistance exercise in young women. *Journal of Sports Sciences*, 37(12), 1375–1380. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1559536>.
- Stien, N., Pedersen, H., Hagen Ravnøy, A., Andersen, V. & Hole Saeterbakken, A. (2020). Training specificity performing single-joint vs. multi-joint resistance exercises among physically active females: A randomized controlled trial. *PLOS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233540>.
- Suchomel, T. J., Nimphius, S. & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>.
- Terveurheilija. (s.a.) Energiaravintoaineet. Verkkosivu. Viitattu 10.12.2023. <https://terveurheilija.fi/urheilijan-ravitsemus/ravintoaineet/#hiilihydraatit>
- THL. (2014). Annoskuvakirja: Ruokapäiväkirjan täyttämisen tueksi. Tampere: Juvenes Print Oy.
- Thompson, B., Almarjawi, A., Sculley, D. & Janse de Jonge, X. (2020). The Effect of the Menstrual Cycle and Oral Contraceptives on Acute Responses and Chronic Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review of the Literature. *Sports Med*, 50, 171–185. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01219-1>.
- Tinsley, G. M., Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Paoli, A., Graybeal, A. J., Campbell, B. I. & Schoenfeld, B. J. (2019). Changes in Body Composition and Neuromuscular Performance Through Preparation, 2 Competitions, and a Recovery Period in an Experienced Female Physique Athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(7), 1823–1839. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002758>.
- VanHeest, J. L., Rodgers, C. D., Mahoney, C. E. & De Souza, M. J. (2014). Ovarian Suppression Impairs Sport Performance in Junior Elite Female Swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(1), 156–166. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a32b72>.
- Vikmoen, O., Raastad, T., Seynnes, O., Bergstrøm, K., Ellefsen, S. & Rønnestad, B. R. (2016). Effects of Heavy Strength Training on Running Performance and Determinants of

- Running Performance in Female Endurance Athletes. PLOS ONE, 11(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150799>.
- Wikström-Frisén, L., Boraxbekk, C. J. & Henriksson-Larsén, K. (2017). Effects on power, strength and lean body mass of menstrual/oral contraceptive cycle based resistance training. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(1–2).
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.05848-5>.
- Woodruff, S. J. & Meloche, R. D. (2013). Energy Availability of Female Varsity Volleyball Players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(1), 24–30. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.1.24>.
- Zabriskie, H., Currier, B., Harty, P., Stecker, R., Jagim, A. & Kerksick, C. (2019). Energy Status and Body Composition Across a Collegiate Women’s Lacrosse Season. *Nutrients*, 11(2), 470. <https://doi.org/10.3390/nu11020470>.
- Zanders, B. R., Currier, B. S., Harty, P. S., Zabriskie, H. A., Smith, C. R., Stecker, R. A., Richmond, S. R., Jagim, A. R. & Kerksick, C. M. (2021). Changes in Energy Expenditure, Dietary Intake, and Energy Availability Across an Entire Collegiate Women’s Basketball Season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 804–810. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002783>.