

**ENERGIAN SAATAVUUDEN YHTEYS SUORITUSKYVYN, KEHON-
KOOSTUMUKSEN JA HORMONITOIMINNAN MUUTOKSIIN NAISILLA
JUOKSUHARJOITTELURAJAKSON AIKANA**

Jenni Ruokolainen

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

TIIVISTELMÄ

Ruokolainen, J. 2023. Energian saatavuuden yhteys suorituskyvyn, kehonkoostumuksen ja hormonitoiminnan muutoksiin naisilla juoksuharjoittelun aikana. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 65 s., 2 liitettä.

Energian saatavuudella (energy availability, EA) tarkoitetaan elimistölle jäävää energiaa harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen jälkeen. EA:lle on määritetty raja-arvot, joiden mukaan se jaetaan optimaaliseen (45 kcal/kg FFM/vrk), vähentyneeseen (30–45 kcal/kg FFM/vrk) ja matalaan (< 30 kcal/kg FFM/vrk) energian saatavuuteen. Jo lyhytaikainen altistuminen matalalle EA:lle aiheuttaa muutoksia aineenvaihduntaa ja kuukautiskiertoa säätelevien hormonien erityksessä. Pidempään jatkunut matala EA saattaa vaikuttaa kehonkoostumukseen ja suorituskyvyn kehittymiseen. EA:n ollessa riittävää, elimistö pystyy palautumaan kuormituksesta optimaalisesti ja harjoitusadaptaatioita voi syntyä. Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, onko EA:lla yhteyttä suorituskyvyn, kehonkoostumuksen tai hormonitoiminnan muutoksiin naisilla 16:n viikon juoksuharjoittelun aikana.

Tutkimukseen osallistui 13 iältään 18–35-vuotiasta naista. Mittaukset suoritettiin tutkimuksen alussa (pre-mittaus), harjoitusjakson puolivälissä (mid-mittaus) ja lopussa (post-mittaus). Tutkittavat täyttivät kolmen päivän ruoka- ja harjoituspäiväkirjaa EA:n ja energiansaannin (energy intake, EI) määrittämiseksi aina suorituskykymittausten jälkeisestä päivästä alkaen. Tutkittavien maksimaalista hapenottokykyä ja testin kestoa mitattiin maksimaalisella hapenottokyvyn testillä. Maksimivoimaa mitattiin isometrisellä jalkaprässillä. Kehonkoostumusta mitattiin bioimpedanssimittauksella paastotilassa. Paastoverinäytteestä analysoitiin trijodityroniinin, insuliinin kaltaisen kasvutekijä 1:n, kortisolin, estradiolin, progesteronin ja leptiinin pitoisuudet. EA:n ja EI:n korrelaatioita suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujiin tarkasteltiin erikseen jokaisesta mittauksesta. Lisäksi tarkasteltiin EA:n ja EI:n sekä näissä tapahtuneiden muutosten korrelaatioita suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujissa tapahtuneisiin muutoksiin.

Minkään muuttujan ei havaittu muuttuvan tutkimusjakson aikana. Tutkittavien keskimääräinen EA oli $37,0 \pm 3,3$ kcal/kg FFM/vrk ja jokaisen tutkittavan EA luokiteltiin vähentyneeksi (30–45 kcal/kg FFM/vrk). EA:lla havaittiin korrelaatio mid-mittauksen leptiinin ($r = 0,664^*$) ja post-mittauksen T_3 :n ($r = 0,946^*$) kanssa sekä EI:lla mid-mittauksen rasvattoman massan ($r = 0,708^*$) kanssa. EA:lla ei havaittu yhteyttä minkään muuttujan muutoksien kanssa. EI puolestaan korreloi positiivisesti painon, rasvamassan ja rasvattoman massan sekä negatiivisesti maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston ja isometrisen maksimivoiman muutosten kanssa joillakin ajanjaksoilla. EA:n muutos korreloi rasvamassan muutoksen kanssa pre–mid jaksolla ($r = 0,604^*$) sekä isometrisen maksimivoiman muutoksen kanssa mid–post-jaksolla ($r = 0,883^*$).

Tässä tutkimuksessa EA:lla ei havaittu systemaattisesti yhteyttä suorituskyky-, kehonkoostumustai hormonimuuttujiin poikkileikkausasetelmassa eikä muuttujien muutoksia tarkasteltaessa harjoitusjakson aikana. Sen sijaan matalampi EI oli melko systemaattisesti yhteydessä maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston ja maksimivoiman kehittymiseen ja suurempi EI näiden heikentymiseen. Kuitenkin energiantarve vaihtelee yksilöllisesti, eikä EI siksi kuvasta energiansaannin riittävyttä ja siten se sopii tutkittavien väliseen vertailuun huonosti. Tutkittavien välinen vaihtelu EA:n osalta oli hyvin vähäistä, mikä saattaa selittää, ettei yhteyksiä havaittu. Lisäksi muuttujissa ei tapahtunut keskimäärin muutoksia jakson aikana, mikä puolestaan saattaa vaikuttaa siihen, ettei johdonmukaisia yhteyksiä muuttujien muutoksiin havaittu.

Asiasanat: Energian saatavuus, suorituskyky, kehonkoostumus, hormonitoiminta

ABSTRACT

Ruokolainen, J. 2023. The relationships between energy availability and changes in sport performance, body composition and hormonal function in women during running training period, 65 pp., 2 appendices.

Energy availability (EA) refers to the amount of energy remaining in the body after energy expenditure caused by training. EA has threshold values according to which EA is divided into optimal (45 kcal/kg FFM/day), reduced 30–45 kcal/kg FFM/day and low (< 30 kcal/kg FFM/day). Even a short period of exposure to low EA causes changes in the effects of hormones that regulate metabolism and menstrual cycle. In addition, prolonged low EA may affect changes in body composition and sport performance development. With sufficient EA, the body can recover from the training load and training adaptations may arise. The aim of this study is to find out if energy availability affects changes in sport performance, body composition or hormonal function in women during 16 weeks of running training.

The study involved 13 women aged 18–35 years. Measurements were taken at the beginning of the study (pre-measurements), in the middle (mid-measurements) and at the end of the training period (post-measurements). The subjects filled out three-day food and exercise diaries in each measurement to determine EA and energy intake (EI). The maximum oxygen uptake of the subjects and time to exhaustion were measured by a maximal oxygen uptake test. Maximum force production of the lower extremities was measured with an isometric leg press. Body composition was measured by bioimpedance measurement in the fasting state. The concentrations of triiodothyronine, insulin-like growth factor 1, cortisol, estradiol, progesterone, and leptin were analysed from the fasting blood sample. Correlations between EA and EI with sport performance, body composition and hormone variables were examined separately for each measurement. In addition, the correlations of EA and EI with changes in sport performance, body composition and hormone variables, as well as the correlations of EA and EI changes with changes in other variables were examined.

No statistically significant changes were observed in any of the variables during the 16-week training intervention. The mean EA of the subjects was 37.0 ± 3.3 kcal/kg FFM/day, and the EA was classified as reduced in each subject (30–45 kcal/kg FFM/day). EA had a correlation with leptin ($r = 0.664^*$) in mid-measurement and with T_3 ($r = 0.946^*$) in post-measurement as well as EI had correlation with fat-free mass ($r = 0.708^*$) in mid-measurement. EA had no correlations with the changes in any variables. EI had positive correlation with change of body mass, fat mass, fat-free mass, and negative correlation with change of time to exhaustion and maximum isometric strength in some study periods. The change of EA correlated with a change in fat mass ($r = 0.604^*$) in the pre–mid period and a change in the maximum isometric strength (0.883^*) in the mid–post period.

In this study, EA was not systematically correlated with sport performance, body composition, or hormones in a cross-sectional setting, nor with changes in variables during the training period. In contrast, a lower EI was systematically associated with the development of time to exhaustion and maximum strength, and a higher EI with a decrease in these. However, energy demand varies individually, and therefore EI does not reflect the body's energy balance. Thus, it is not suitable for comparison between subjects. The variation between subjects for EA was very limited, which may explain that no systematic correlations were observed. In addition, there were no changes in any variable during the study, which in turn may explain why no systematic correlations between changes in variables were observed.

Key words: energy availability, sport performance, body composition, hormonal function

KÄYTETYT LYHENTEET

AerK	aerobinen kynnys
AnK	anaerobinen kynnys
BMI	body mass index, kehon painoindeksi
E ₂	estradioli
EA	energy availability, energian saatavuus
EEE	exercise energy expenditure, harjoittelun aiheuttama energiankulutus
EI	energy intake, energiansaanti
FFM	fat free mass, kehon rasvaton massa
FM	fat mass, kehon rasvamassa
FSH	follikkeliä stimuloiva hormoni
GH	growth hormone, kasvuhormoni
HIIT	high intensity interval training, korkeaintensiteettinen intervalliharjoittelu
IGF-1	insulin like growth factor 1, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1
LEA	low energy availability, matala energian saatavuus
LH	luteinisoiva hormoni
MET	metabolic equivalent, metabolinen ekvivalentti
MIET	moderate intensity exercise training, kohtuukuormitteinen harjoittelu
NEAT	non-exercise activity thermogenesis, ei-harjoitteluun liittyvä energiankulutus
P ₄	progesteroni
RED-S	relative energy deficiency in sport, suhteellinen energiavaje urheilussa
REE	resting energy expenditure, lepoenergiankulutus
T ₃	trijodityroniini
T ₄	tyroksiini
VO ₂ peak	peak oxygen consumption, suurin mitattu hapenkulutus
VO ₂ max	maximal oxygen consumption, maksimaalinen hapenottokyky

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	1
2 ENERGIAN SAATAVUUS	3
3 KESTÄVYYSHARJOITTELUN AIKAANSAAMAT ADAPTAATIOT.....	7
3.1 Kestävyysuorituskyky.....	7
3.2 Voimantuotto- ja lihasmassa.....	10
4 AINEENVAIHDUNNAN JA KESTÄVYYSHARJOITTELUN ADAPTAATIOIDEN HORMONAALINEN SÄÄTELY	11
4.1 Anabolisia ja katabolisia prosesseja säätelevät hormonit.....	11
4.2 Energiankulutusta ja ruokahalua säätelevät hormonit.....	12
4.3 Kuukautiskierron ja hormonaalisen ehkäisyn vaikutus hormonitoimintaan, suoritukseen ja kehonkoostumukseen	13
4.4 Kestävyysuorituksen vaikutus hormoni- toimintaan	17
5 ENERGIAN SAATAVUUDEN VAIKUTUS HORMONI- TOIMINTAAN, KEHONKOOSTUMUKSEEN JA SUORITUSKYKYYN.....	19
5.1 Matalan energian saatavuuden vaikutus hormoni- toimintaan	19
5.2 Matalan energian saatavuuden vaikutus kehonkoostumukseen	20
5.3 Matalan energian saatavuuden vaikutus suoritukseen	21
6 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	25
7 MENETELMÄT.....	27
7.1 Tutkittavat.....	27
7.2 Tutkimusasetelma.....	28
7.3 Aineiston keräys ja analysointi.....	29
7.3.1 Paastomittaukset.....	29
7.3.2 Suorituskykymittaukset	30

7.3.3	Energian saatavuus	32
7.4	Tilastolliset menetelmät.....	33
8	TULOKSET	35
9	POHDINTA.....	43
9.1	Harjoitusjakson aikaiset muutokset.....	43
9.2	Energian saatavuuden ja energiansaannin korrelaatiot muihin muuttujiin.....	46
9.3	Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset.....	49
9.4	Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset	52
	LÄHTEET	54
	LIITTEET	
	Liite 1: Ruokapäiväkirjan täyttöohjeet ja esimerkkipäivä.	
	Liite 2. Harjoituspäiväkirja.	

1 JOHDANTO

Ravitsemuksen merkitys kestävyysharjoittelussa korostuu, koska energiankulutus on moniin muihin lajeihin verrattuna runsasta. Energiansaannin on oltava vähintään yhtä suurta kuin kulutuksen, eli elimistön on oltava energiatasapainossa, jotta se pystyy palautumaan kuormituksesta ja harjoitusadaptaatioita voi syntyä. (Areta ym. 2021) Energian saatavuus (energy availability, EA) tarkoittaa elimistölle harjoittelun jälkeen jäävän energian määrää ja sen ajatellaan kuvaavan paljon liikkuvien energiantarvetta energiatasapainoa paremmin. EA:lle on määritetty laboratorio-olosuhteissa raja-arvoja kuvastamaan terveyden ja suorituskyvyn kannalta optimaalista (45 kcal/kg FFM/vrk), vähentynyttä (30–45 kcal/kg FFM/vrk) ja matalaa (< 30 kcal/kg FFM/vrk) EA:ta. Riittävä EA takaa lihasten glykogeenivarastojen tehokkaan täydentämisen harjoituksen jälkeen, harjoittelun aiheuttamien kudosaurioiden nopean korjaamisen, immuunipuolustuksen normaalin toiminnan ja riittävän palautumisen seuraavaan harjoitukseen. (Melin ym. 2019) Puolestaan pitkään jatkunut matala EA saattaa aiheuttaa hormonitoiminnan häiriöitä, tehostaa katabolisia eli hajottavia prosesseja ja lisätä loukkaantumisriskiä, infektioita sekä psyykkisiä haasteita. (Mountjoy ym. 2018) Vielä on hieman epäselvää, miten matala EA vaikuttaa pitkällä aikavälillä suorituskykyyn tai sen kehittymiseen, mutta muutamien tutkimusten perusteella vaikuttaisi, että se hidastaa tai estää suorituskyvyn kehittymistä (Vanheest ym. 2014; Woods ym. 2017).

Maksimaalinen hapenotto (VO₂max) ja kynnyksominaisuudet sekä suorituksen taloudellisuus ovat tärkeimpiä kestävyysuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä. Hapenottoon ja kynnyksominaisuuksiin vaikuttavat elimistön kyky kuljettaa ja käyttää happea suorituksen aikana. Hapenkuljetuskapasiteetin taustalla ovat sydämen ja verenkiertoelimistön toiminta sekä happea punasoluissa sitovan hemoglobiinin määrä. Kudosten kykyyn vastaanottaa ja käyttää happea puolestaan vaikuttavat happea vastaanottavan myoglobiinin sekä mitokondrioiden määrä ja aktiivisuus lihassoluissa. (Bassett & Howley 2000) Matalan EA:n on havaittu vähentävän elimistön rautavarastoja (Finn ym. 2021) ja heikentävän raudan imeytymistä (McKay ym 2020). Siten se saattaa heikentää elimistön hapenkuljetuskapasiteettia ja kykyä käyttää happea työskentelevissä lihaksissa (Hinton 2014).

Kehon rasvamassalla ja -prosentilla sekä lihasmassalla ja antropometrisillä tekijöillä on tärkeä rooli kestävyysuorituskyvyn taustalla. Juoksussa kevyestä kehonpainosta ja vähäisestä rasvamassasta on hyötyä, koska omaa kehonpainoa täytyy kannatella suorituksen aikana. Alaraajojen

voima on yhteydessä parempaan taloudellisuuteen, mutta ylimääräisestä lihasmassasta erityisesti ylävartalossa on haittaa kestävyysjuoksussa. Suuremman massan liikuttaminen kuluttaa enemmän happea, jolloin tietyn intensiteetin saavuttaminen vaatii korkeampaa absoluuttista (l/min) hapenottoa verrattuna kevyempään kehonpainoon. Hapenotto ilmaistaankin useimmiten painoon suhteutettuna (ml/kg/min), mikä mahdollistaa eri painoisten henkilöiden vertailun. (Barnes & Kilding 2015a) Kestävyysharjoittelulla saattaa olla suorituskyvyn kannalta edullisia vaikutuksia kehonkoostumukseen. Kuitenkin ruokavalion merkitys kehonkoostumukseen on harjoittelua suurempi. (Clark 2015) Matalan EA:n vaikutukset kehonkoostumukseen ovat osittain epäselviä (Koehler ym. 2016). Kuitenkin pitkään jatkuneen riittämättömän EA:n arvellaan johtavan suorituskyvyn kannalta epäedulliseen kehonkoostumukseen, sillä vaikka kehonpaino tyypillisesti alenee, myös lihasmassaa saatetaan menettää liikaa suhteessa juoksussa vaadittuihin voimaominaisuuksiin (Smiles ym. 2016).

Vaikka matala EA on yleistä runsaasti liikkuvien naisten keskuudessa ja sen tiedetään jo hyvin nopeasti vaikuttavan terveyteen negatiivisesti (Logue ym. 2020), EA:n yhteyttä varsinaiseen suorituskykyyn on toistaiseksi tutkittu hyvin vähän, eikä kaikkia sen vaikutusmekanismeja tunneta. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää energian saatavuuden, hormonitoiminnan, kehonkoostumuksen ja suorituskykymuuttujien välisiä yhteyksiä 16 viikon juoksuharjoittelun aikana fyysisesti aktiivisilla naisilla.

2 ENERGIAN SAATAVUUS

Energian saatavuus on vasta viimeisen vuosikymmenen aikana yleistynyt termi, jota käytetään kuvaamaan erityisesti urheilijoiden ja runsaasti liikkuvien elimistön aineenvaihdunnallista tilaa (Areta ym. 2021). Se tarkoittaa energian määrää, joka jää elimistön käyttöön harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen jälkeen. Jäljelle jäävä energia käytetään elimistön perustoimintoihin, kuten hormonitoimintaan, immuunijärjestelmän toimintaan, ruoansulatukseen, solujen uusiutumiseen ja toimintaan sekä lisäksi harjoittelusta palautumiseen ja harjoitusadaptaatioihin. (Mountjoy ym. 2018) EA:n määrittämistä varten on tiedettävä energiansaanti (energy intake, EI), liikunnan aiheuttama energiankulutus (exercise energy expenditure, EEE) ja kehon rasvaton massa (fat-free mass, FFM): $EA = (EI - EEE) / FFM$. Tulos ilmoitetaan kilokaloreina rasvatonta kehonpainoa kohti vuorokaudessa (kcal/kg FFM/vrk). (Loucks ym. 2011)

Energiansaannin määrittäminen ruokapäiväkirjasta. Energiansaantia voidaan määrittää 1–7:n vuorokauden ajalta kerätyn ruokapäiväkirjan avulla. Päiväkirjaan kirjataan täsmällisesti kaikki nautitut ruoat ja juomat käyttämällä elintarvikkeiden painoa (g), talousmittoja (tl, rkl, dl) tai annoskokoja (esimerkiksi pieni, keskikokoinen tai suuri annos) sekä elintarvikkeiden kauppanimiä, jos ne ovat tiedossa. (Magkos & Yannakoulia 2003) Ruokien valmistustapa sekä kypsennykseen käytetty rasva ja sen määrä kirjataan. Ruokapäiväkirjasta lasketaan energiansaanti ja usein myös eri makro- ja mikroravintoaineiden saannit käyttämällä tähän tarkoitukseen luotuja ohjelmistoja, joihin on valmiiksi syötetty eri ruokien ja valmisteiden ravintoaine- ja energiasisällöt. (Larson-Meyer ym. 2018)

Päiväkirjan heikkoutena on, että usein se aliarvioi energiansaantia aliraportoinnista, annoskojen virheellisestä arvioinnista tai syömiskäyttäytymisen muuttamisesta johtuen. On arvioitu, että energiansaantia voidaan aliarvioida 10–30 %:a silloinkin, kun annokset punnitaan ja vielä enemmän arvioitaessa annoskoot punnitsematta. Ravitsemuksen päivittäisen vaihtelun takia tarvittaisiin jopa viikon mittainen mittausjakso, mutta kirjaamisen työläyden takia se on tavallisesti noin kolme vuorokautta. (Magkos & Yannakoulia 2003) Analysoitaessa päiväkirjaa haasteena on, ettei kaikkia ruokia ja ruoka-aineita löydy sellaisenaan ohjelmistosta, jolloin käytetään tuoteryhmän keskiarvoa tai vastaavan tuotteen tietoja. Myös ruoan valmistustavalla, säilömisellä tai kasvikunnan tuotteissa lajikkeella voi olla vaikutusta ravintoainekoostumukseen, eikä näitä aina ole mahdollista huomioida analysoitaessa päiväkirjoja. (Larson-Meyer ym. 2018)

Harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen määrittäminen harjoituspäiväkirjasta. Harjoittelun aiheuttamaa energiankulutusta voidaan arvioida erilaisten sykkeeseen perustuvien laskukaavojen avulla. Sykkeen ja hapenkulutuksen välillä vallitsee lineaarinen yhteys, erityisesti keskitehoisilla kuormilla. Hyvin matalalla ja korkealla intensiteetillä yhteys saattaa hieman poiketa lineaarisuudesta. Koska myös hapenkulutuksen ja energiankulutuksen suhde on lineaarinen, voidaan sykkeen avulla arvioida energiankulutusta. EEE:n määrittämiseksi on siis tiedettävä harjoituksen aikainen keski- ja maksimisyke sekä harjoituksen kesto. On kuitenkin hyvä huomata, että vaikka tulokset ovat ryhmätasolla melko luotettavia, yksilötasolla määritetty EEE voi poiketa merkittävästi todellisesta. (Charlot ym. 2014) Jos syketietoja ei ole saatavilla, voidaan EEE:ta arvioida myös metabolisten ekvivalenttien (metabolic equivalent, MET) avulla. MET-kertoimet perustuvat hapen- ja energiankulutuksen lineaariseen suhteeseen ja ne kuvaavat, kuinka moninkertaisesti aktiviteetti ylittää lepoenergiankulutuksen (3,5 ml/kg/min). Esimerkiksi 8 km/h vauhtisen juoksun MET-kerroin on 8,3 eli hapen- ja siten energiankulutus on 8,3-kertainen lepotilaan nähden. (Ainsworth ym. 2011)

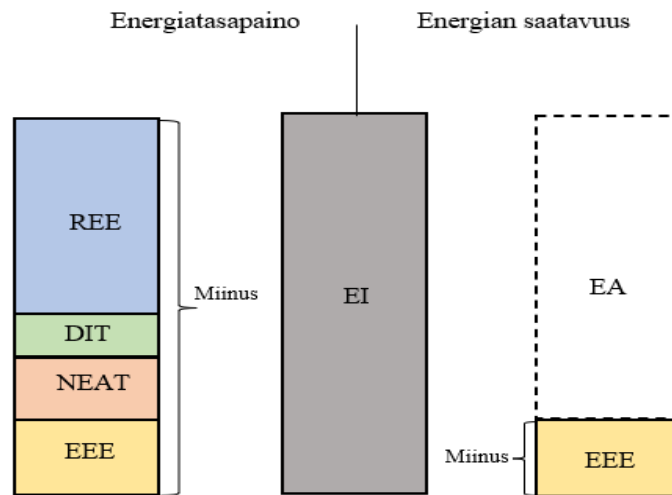
Energian saatavuuden raja-arvot. Energian saatavuudelle on määritetty laboratorio-olosuhteissa raja-arvot, joiden ajatellaan olevan yhteydessä fyysiseen ja psyykkiseen terveyteen sekä suorituskykyyn. Optimaalinen EA naisurheilijoille on 45 kcal/kg FFM/vrk. EA:n ollessa optimaalista energiaa jää hormonitoiminnan ja muiden elimistön perustoimintojen jälkeen esimerkiksi kuormituksesta palautumiseen, kuten lihassoluvaurioiden korjaamiseen ja glykogeenivarojen nopeaan täydentämiseen. Tällöin harjoitusadaptaatioita voi syntyä ja suorituskyvyn kehittyminen on mahdollista. Vähentyneestä EA:sta puhutaan sen ollessa 30–45 kcal/kg FFM/vrk. Vähentynyt EA sopii lyhytaikaisesti ylläpidettäväksi esimerkiksi painoa pudottaessa, mutta pitkään jatkuessaan se voi heijastua negatiivisesti terveyteen ja suorituskyvyn kehittyminen voi hidastua. EA:n ollessa alle 30 kcal/kg FFM/vrk se määritetään matalaksi (low energy availability, LEA). (Melin ym. 2019) LEA:a ei suositella ylläpidettäväksi edes lyhytaikaisesti, koska sen on havaittu jo muutaman päivän ylläpitämisen jälkeen aiheuttavan haittaa hormonitoiminnalle ja elimistön anabolisille prosesseille (Areta ym. 2021).

Suhteellinen energiavaje urheilussa. Pitkään jatkuessaan LEA saattaa johtaa tilaan, jota kutsutaan suhteelliseksi energiavajeeksi urheilussa (relative energy deficiency in sport, RED-S). Siihen liittyy usein LEA:n lisäksi hormonaalisia ja aineenvaihdunnallisia häiriöitä, kuukautiskier-

ron häiriöitä, luuntiheyden ja -massan vähentymistä, vastustuskyvyn heikkenemistä, verenkierto- ja ruoansulatuselimistön ongelmia sekä psyykkisiä ja kognitiivisia haasteita. Yhdessä nämä tekijät saattavat heijastua suorituskykyyn esimerkiksi heikentyneen harjoitusvasteen ja lisääntyneiden harjoituspoissaolojen takia. RED-S sisältää aiemmin paljon käytetyn termin, ”naisurheilijan oireyhtymän” (female athlete triad), johon luetaan LEA:n lisäksi kuuluvaksi kuukautiskierron häiriöt ja alentunut luuntiheys. Naisurheilijan oireyhtymä ei huomioi muita osatekijöitä ollenkaan, jonka takia RED-S:n ajatellaan olevan kattavampi termi LEA:n moninaisten seurausten kuvaamiseksi. (Mountjoy ym. 2018)

EA on perinteisesti käytettyä energiatasapainoa parempi termi kuvastamaan elimistön energiantarvetta runsaasti liikuntaa harrastavilla. Energiatasapaino tarkoittaa energiansaannin ja -kulutuksen erotusta. Erotuksen ollessa nolla, elimistön ajatellaan olevan energiatasapainossa, jolloin painon pitäisi pysyä vakiona. Kuitenkin esimerkiksi negatiivisessa energiatasapainossa laskennallinen energiavaje voi olla todellista suurempi, sillä elimistö säästää energiaa adaptiivisen termogeneesin (”säästöliekin”) avulla. Silloin lepoenergiankulutus ja joskus myös ei harjoitteluun liittyvä fyysinen aktiivisuus (non-exercise activity thermogenesis, NEAT) vähenevät. Adaptiivisen termogeneesin ansiosta elimistö voi siis olla lähes tai täysin energiatasapainoisessa tilassa, vaikka laskennallisesti energiankulutus olisi -saantia suurempaa. (Areta ym. 2021; Loucks ym. 2011)

EA puolestaan huomioi pelkästään harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen, jolloin saatu tulos on riippumaton elimistön dynaamisista prosesseista energiankulutuksen säätelyssä. Se siis kuvastaa elimistölle jäävän energian määrää, ei kokonaiskulutuksen ja energiansaannin välistä suhdetta. Esimerkiksi painoa pudottaessa laskennallinen energiavaje voi olla useita satoja kilokaloreita, mutta todellisuudessa energiavajetta ei synny, tai se on laskennallista vähäisempi, adaptiivisen termogeneesin takia. Tällöin paino ei vähene toivotulla tavalla tai painonpudotus voi pysähtyä täysin. (Areta ym. 2021) Sen sijaan samassa tilanteessa EA on usein matala, mikä puolestaan saattaa selittää adaptiivista termogeneesiä ja painon muuttumattomuutta, koska elimistöllä ei ole riittävästi energiaa normaaliin aineenvaihduntaa säätelevien hormonien toimintaan. (Loucks ym. 2011) Kuvassa 1 havainnollistetaan energiatasapainon ja EA:n käsitteitä.



KUVA 1. Energiatasapaino ja energian saatavuus. DIT, ruoan aiheuttama termogeneesi; EA, energian saatavuus; EEE, harjoittelun aiheuttama energiankulutus; EI, energiansaanti; NEAT, ei harjoitteluun liittyvän fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus; REE, lepoenergiankulutus (Mukaiilu Areta ym. 2021).

EA:n käänttöpuolena on, ettei se huomioi muuta fyysistä aktiivisuutta (NEAT) kuin harjoittelun. Joillakin ihmisillä NEAT on hyvin runsasta esimerkiksi fyysisen työn takia, kun taas toisilla arkiaktiivisuutta kertyy hyvin vähän. Silti määritetty EA on sama henkilöillä, joiden EI ja EEE ovat samanlaisia. Fysiologisesti ei ole merkitystä, onko energiankulutus harjoittelun vai muun fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa: arkiaktiivisuuden huomiotta jättäminen on yksi potentiaalinen syy, miksi laboratoriossa määritetyt raja-arvot eivät sellaisenaan sovellu kaikille yksilöille. Tutkimuksissa aktiivisuuden vakioiminen olisi tärkeää, joskin melko haastavaa, jotta EA:n vaikutusta esimerkiksi suorituskykyyn voitaisiin tutkia luotettavasti. (Areta ym. 2021)

Heikuran ym. (2018) tutkimuksessa matalaa EA:ta indikoiva amenorrea eli kuukautisten puuttuminen, oli yhteydessä useiden hormonien vähentyneeseen eritykseen, luun tiheyden heikkenemiseen ja rasisurmurtumien määrään. Kuitenkaan näiden muuttujien ja EA:n välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä, joskin trendi oli samanlainen. Tutkijat arvelivat, että EA:n määrittämiseen liittyvät virhelähteet olisivat vaikuttaneet yhteyksien puuttumiseen. EA:n määrittämisen sijaan voisi olla parempi arvioida matalan EA:n oireita, kuten kuukautishäiriöitä, luun mineraalitiheyden heikkenemistä ja alentuneita hormonipitoisuuksia sekä käyttää LEA:n riskin määrittämiseen laadittua LEAF-Q-kyselyä (Low Energy Availability in Females Questionnaire) urheilijan kokonaisvaltaisen terveydentilan ja riskien selvittämiseksi. (Heikura ym. 2018)

3 KESTÄVYYSHARJOITTELUN AIKAANSAAMAT ADAPTAATIOT

Säännöllisen kestävyys harjoittelun aloittaminen aiheuttaa useiden elimistön järjestelmien adaptaatioita, jotka mahdollistavat suorituskyvyn kehittymisen. Muutoksia tapahtuu sydän ja verenkierto- sekä hengityselimistössä, aineenvaihdunnassa, kehonkoostumuksessa, hermolihasjärjestelmässä sekä lajispesifissä suoritustekniikassa. Harjoitusmuoto, intensiteetti ja volyymi vaikuttavat adaptaatioiden ilmenemiseen ja suuruuteen. Esimerkiksi eri intensiteeteillä toteutetut harjoitukset saattavat aktivoita eri signaalintireittejä adaptaatioiden taustalla (Laursen 2010). Siksi monipuolinen ja periodisoitu harjoittelu mahdollistaa eri adaptaatioiden optimaalisen kehittymisen (MacInnis & Gibala 2017).

3.1 Kestävyys suorituskyky

Kestävyys suorituskyvyn kannalta tärkeimpiä harjoitusadaptaatioita ovat sydämen ja verenkiertoelimistön sekä hermolihasjärjestelmän adaptaatiot. Plasman volyymi ja punasolujen massa lisääntyvät jo melko pian säännöllisen harjoittelun aloittamisen jälkeen. Lisäksi sydämen koko kasvaa ja erityisesti vasemman kammion seinämä paksuuntuu, jolloin sydämen iskutilavuus ja siten minuuttitulavuus lisääntyvät. Kuitenkin naisilla sydämen adaptaatioiden on joidenkin tutkimusten perusteella havaittu olevan miehiä vähäisempiä. (Diaz-Canestro & Montero 2020) Hapenkuljetus lihaksiin tehostuu lisääntyneen hiussuonituksen ansiosta. Lihasten kyky käyttää happea ja siten lisätä aerobista energiantuottoa kehittyy mitokondrioiden määrän lisääntymisen ja toiminnan tehostumisen seurauksena. Erityisesti korkeaintensiteettinen intervalliharjoittelu (high intensity interval training, HIIT) kehittää mitokondrioiden kykyä käyttää happea niiden toimintaa tehostavien säätelytekijöiden määrän lisääntymisen ansiosta. Sen sijaan matalatehoinen ja suurivolyyminen harjoittelu vaikuttaa erityisesti mitokondrioiden määrän ja koon säätelyyn. (Hughes ym. 2018) Hengityselimistön adaptaatiot ovat vähäisempiä, mutta harjoittelu parantaa hengityslihasten voimaa ja taloudellisuutta, jolloin happea saadaan enemmän työskentelevien lihasten käyttöön (McKenzie 2012).

Maksimaalinen hapenottokyky (VO_2max) on käytetyin sydän- ja verenkiertoelimistön kuntoa kuvaava muuttuja. Se on sydämen maksimaalisen minuuttitulavuuden ja kudosten hapen käyttöä kuvaavan valtimo-laskimohappieron ($a-vO_2-ero$) tulo: $(iskutilavuus \times syke) \times a - vO_2 - ero$. Tulos ilmaistaan joko absoluuttisena (l/min) tai useimmiten kehonpainoon suhteutettuna

(ml/kg/min). $VO_2\text{max}$ asettaa rajan myös kynnysominaisuuksien kehittymiselle, jonka takia sitä pidetään tärkeimpänä suorituskykyä kuvaavana muuttujana. On arvioitu, että jopa 85 %:a $VO_2\text{max}$:sta selittyy minuuttitilavuudella ja loput a- vO_2 -erolla (Bassett & Howley 2000). Maksimisykkeeseen ei voida vaikuttaa harjoittelulla, mutta iskutilavuus kehittyy sydämen ja verenkiertoelimistön adaptaatioiden myötä. Lähes kaikki happi sitoutuu veressä punasolujen hemoglobiiniin (Hb), joten punasolujen ja kokonaihemoglobiinin määrä on tärkeä hapenkuljetuskapasiteettiin vaikuttava tekijä. Lisäksi a- vO_2 -eroon vaikuttaa lihasten oksidatiivisuus, eli lihas-solujakauma ja mitokondrioiden määrä, koko sekä toiminta. (Lundby ym. 2017)

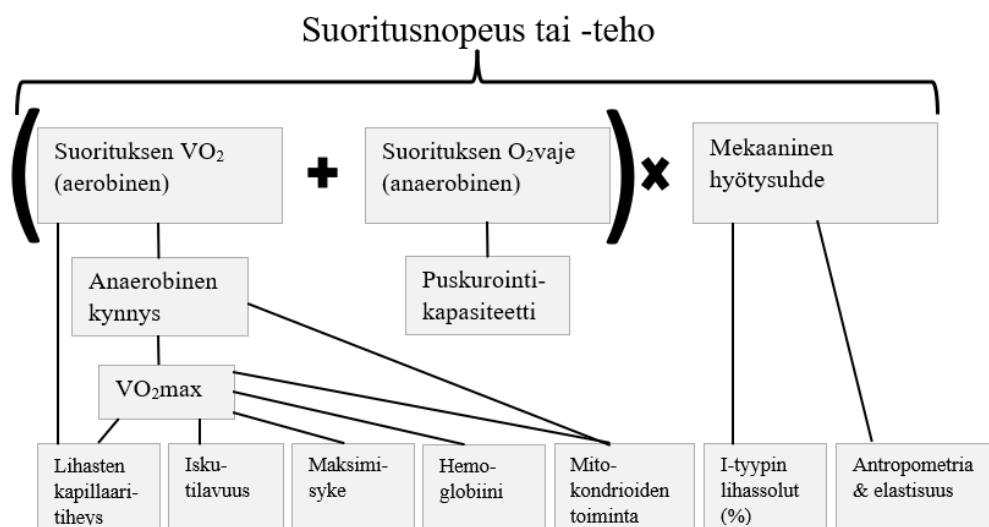
$VO_2\text{max}$ vaihtelee iän, sukupuolen, harjoitustaustan ja perimän vaikutuksesta noin 20–90 ml/kg/min välillä. Terveen aikuisväestön keskimääräinen $VO_2\text{max}$ on naisilla noin 37 ml/kg/min. $VO_2\text{max}$ heikkenee suunnilleen 25 ikävuodesta alkaen keskimäärin 8 %:a vuosikymmenessä. Heikentymisen taustalla vaikuttavia mekanismeja ovat muun muassa maksimisykkeen ja mahdollisesti iskutilavuuden pieneneminen sekä tyypillisesti fyysisen aktiivisuuden ja lihasmassan väheneminen sekä rasvamassan ja painon lisääntyminen. (Loe ym. 2013) $VO_2\text{max}$ kehittyy parhaiten, kun kuormituksen intensiteetti on korkea, noin 90–95 %:a $VO_2\text{max}$:sta. HIIT-harjoittelun on havaittu olevan tehokas harjoitusmuoto $VO_2\text{max}$:n kehittämiseen (Helgerud ym. 2007). Kuitenkin harjoittelemattomilla matalampikin intensiteetti riittää kehittämään $VO_2\text{max}$:a (Milanovic ym. 2015).

Aerobinen (AerK) ja anaerobinen (AnK) kynnykset ovat tärkeitä suorituskykyä kuvaavia muuttujia pitkäkestoisessa suorituksessa. AerK:llä tarkoitetaan työskentelytehoa, jolla veren laktaattipitoisuus nousee ensimmäisen kerran perustasostaan. AerK:n alapuolella tapahtuvassa harjoittelussa (peruskestävyys-harjoittelu) lähes kaikki energia tuotetaan aerobisesti eli hapen avulla. Kynnysten välisellä alueella (vauhtikestävyys-harjoittelu) anaerobisen eli ilman happea tapahtuvan energiantuoton osuus kasvaa, mutta aerobinen energiantuotto on yhä selkeästi suuremmissa roolissa. Tällä alueella laktaatin tuotto ja poisto pysyvät tasapainossa eli laktaattipitoisuus tietyllä intensiteetillä on vakio. AnK puolestaan kuvaa korkeinta työskentelytehoa, jolla laktaatin tuotto ja poisto pysyvät tasapainossa. AnK:n yläpuolella (maksimikestävyys-harjoittelu) laktaattia kertyy lihaksiin, vaikka intensiteetti pysyisi vakiona. Erityisesti AnK:ä pidetään tärkeänä suorituskykyä selittävänä tekijänä, koska se on yhteydessä prosentuaaliseen osuuteen $VO_2\text{max}$:sta, jolla intensiteettiä pystytään ylläpitämään. Siten käytännössä kahdesta henkilöstä se, jonka AnK on parempi, pystyy ylläpitämään korkeampaa intensiteettiä, vaikka henkilöiden $VO_2\text{max}$ olisi sama. (Faude ym. 2009) Harjoittelun myötä kynnykset siirtyvät korkeammille

intensiiteille eli energiaa tuotetaan aerobisesti aiempaa korkeammalla kuormituksen intensiteetillä. Usein kynnyksiä voidaan kehittää vielä senkin jälkeen, kun VO₂max on saavuttanut koko kehityspotentialinsa, jolloin suorituskyky voi vielä kehittyä. (Billat ym. 2003)

Taloudellisuus on kolmas tärkeä kestävyysuorituskykyä kuvaava muuttuja. Sillä tarkoitetaan hapenkulutuksen ja tehon välistä suhdetta, eli paljonko happea kulutetaan tietyllä intensiteetillä. Mitä vähemmän happea ja samalla energiaa tietyllä intensiteetillä kulutetaan, sitä taloudellisempi suoritus on. Yksilöiden välinen vaihtelu hapenkulutuksessa tietyllä intensiteetillä on arvioitu olevan jopa 30–40 %:a. Taloudellisuuden rooli korostuu pitkissä suorituksissa, koska pienemmällä hapenkulutuksella eteneminen säästää energiaa suorituksen loppuun ja toisaalta korkeamman intensiteetin ylläpitäminen on mahdollista. (Joyner & Coyle 2008) Taloudellisuuden vaikuttaa lukuisia erilaisia perimän säätelemiä sekä harjoitteluun liittyviä tekijöitä. Esimerkiksi antropometriset raajojen mittasuhteet, lihassolujakauma sekä akillesjänteen pituus ja jäykkyys ovat pitkälti perimän säätelemiä, eikä niihin voida harjoittelulla juurikaan vaikuttaa. (Barnes & Kilding 2015a)

Harjoittelulla ja elintavoilla voidaan sen sijaan vaikuttaa hermolihaskäytön toimintaan, kehonkoostumukseen, sydän ja verenkiertoelimistöön, väsymyksen sietämiseen ja suoritustekniikkaan. Taloudellisuus on lajispesifiä ja suoritustekniikalla on suuri vaikutus siihen. Juoksussa luonnollinen askelpituus ja -kontakti ovat yleensä taloudellisimpia, eli itselle luontaista tekniikkaa ei tavallisesti kannata tietoisesti pyrkiä muuttamaan. (Barnes & Kilding 2015a) Mooren ym. (2012) tutkimuksessa 10 viikon juoksuharjoittelu paransi aloittelijoiden taloudellisuutta 8,4 %:a ja muutos selittyi lähes täysin biomekaanisilla muutoksilla nivelkulmissa ja kulmanopeuksissa. Juoksun taloudellisuus siis kehittyi aloittelijoilla tekniikan muotoutuessa itselle luontaiseksi. Lisäksi plyometrisella ja maksimivoima- sekä mahdollisesti HIIT-harjoittelulla voidaan kehittää hermolihaskäytön toimintaa ja siten juoksun taloudellisuutta (Barnes & Kilding 2015b). Kuvaan 2 on koottu tärkeimmät kestävyysuorituskykyyn vaikuttavat tekijät.



KUVA 2. Kestävyyssuorituskyvyn tärkeimmät osatekijät. O₂vaje, happivaje; VO₂, hapenkulutus; VO₂max, maksimaalinen hapenkulutus; Mekaaninen hyötysuhde, tehdyn työn ja energiankulutuksen välinen suhde (Mukaiilu Joyner & Coyle 2008).

3.2 Voimantuottokyky ja lihasmassa

Tyypillisesti kestävyysharjoittelun ajatellaan vaikuttavan negatiivisesti tehontuottoon ja lihasproteiinisynteesin määrään sekä pitkällä aikavälillä voimantuottokykyyn erityisesti teho- ja voimalajien urheilijoilla (Coffey & Hawley 2017). Kuitenkin aloittelijoilla kestävyysharjoittelukin saattaa aktivoita anabolisia signaalintireittejä ja siten lisätä proteiinisynteesiä ja voimantuottokykyä. Jotta kestävyysharjoittelulla voidaan saada aikaan anabolinen vaste, sen täytyy olla säännöllistä ja melko korkeaintensiteettistä (70–80 %:a maksimisykkeestä) sekä aktivoita suuria lihasryhmiä. (Konopka & Harber 2014)

Juoksuharjoittelun vaikutus lihasmassan ja voimantuoton kehittymiseen ei ole yhtä selvä kuin pyörällä tehdyn harjoittelun, jonka on havaittu kehittävän voimantuottoa (Sillanpää 2008) ja naisilla myös lihasmassaa (Sillanpää ym. 2009). Kuitenkin juoksussa energiankulutus on pyöräilyä suurempaa rekrytoitujen lihassolujen määrän ollessa suurempi ja siten juoksu voi olla pyöräilyä tehokkaampi harjoitusmuoto kehonkoostumuksen muokkaamiseen terveyden kannalta edullisemmaksi erityisesti ylipainoisilla henkilöillä (Wewege ym. 2017).

4 AINEENVAIHDUNNAN JA KESTÄVYYS HARJOITTELUN ADAPTAATIOIDEN HORMONAALINEN SÄÄTELY

Monien aineenvaihdunnallisten prosessien säätely on ainakin osittain hormonaalista. Hormonit ovat endokriinisten rauhasen tuottamia viestiaineita, jotka sitoutuvat kohde-elimessä joko solukalvolla tai solun sisäpuolella oleviin reseptoreihin. Lisäksi kudoksissa tuotetaan paikallisesti erilaisia viestiaineita, kuten sytokiineja, joiden vaikutus on usein hormonien kaltainen. Hormonit ja muut viestiaineet aktivoivat tai inhiboivat eli estävät kohdesolujensa tiettyjä toimintoja, jotta elimistö voisi sopeutua kulloiseenkin tilanteeseen. Harjoittelu yhdessä esimerkiksi ravitsemuksen ja elimistön energiastatuksen eli energiansaannin riittävyyden kanssa vaikuttaa useiden hormonien eritykseen ja siten elimistön adaptoitumiseen harjoitteluun. Hormonit toimivat yhdessä ja vaikuttavat toisiinsa. Lisäksi kudosten herkkyteen hormoneille vaikuttaa esimerkiksi reseptorien määrä, jota voidaan säädellä. Hormonaalinen signaalointi ei siis ole suoraviivaista, vaan se muodostaa monimutkaisen elimistön toimintaa säätelevän kokonaisuuden. (Kraemer ym. 2020)

4.1 Anabolisia ja katabolisia prosesseja säätelevät hormonit

Anaboliolla tarkoitetaan sellaisia elimistön aineenvaihduntaprosesseja, joissa rakentuu energiaa sisältäviä yhdisteitä. Esimerkiksi lihashypertrofia, glykogeenivarastojen täydentyminen ja glukoneogeneesi ovat esimerkkejä anabolisista prosesseista. Kataboliolla puolestaan tarkoitetaan energiaa vapauttavia prosesseja, kuten triglyseridien pilkkomista rasvahapoiksi tai proteiinien pilkkomista aminohapoiksi. Anabolialla ja katabolialla säädellään useiden hormonien avulla. Hormonitoimintaan puolestaan vaikuttavat esimerkiksi harjoittelu ja elimistön energiastatus sekä sukupuoli ja ikä. (Kraemer ym. 2020)

Tärkeimpiä anabolisia hormoneja ovat testosteroni, kasvuhormoni (growth hormone, GH) sekä insuliinin kaltainen kasvutekijä (insulin-like growth factor, IGF-1). GH erittyy aivolisäkkeen etulohkossa pulssimaisesti. Nimensä mukaisesti se lisää muun muassa lihaskasvua, mutta lisäksi se aktivoi IGF-1:n eritystä maksassa. (Bergan-Roller & Sheridan 2018) IGF-1 osallistuu useisiin anabolisiin prosesseihin: se esimerkiksi aktivoi satelliittisolujen toimintaa ja yhdistymistä lihassoluihin, lisää aminohappojen ottoa soluun sekä tehostaa proteiinisynteesiä, lisää hermosolujen myelinisaatiota ja uudistumista sekä parantaa insuliiniherkkyttä. Testosteroni

on steroidihormoni, joka sitoutuu soluissa androgeenireseptoriin. Se on tärkeä lihasten ja hermoston anabolinen ja antikatabolinen eli kataboliaa vähentävä säätelijä, joka vaikuttaa esimerkiksi lihasmassan ja voiman kehittymiseen. Naisilla noin puolet testosteronista tuotetaan munasarjoissa ja lisämunuaisissa ja loput kudoksissa esihormoneista muokkaamalla. (Kraemer ym. 2020) Naisilla myös estrogeenillä on havaittu olevan anabolinen vaikutus (Chidi-Ogboly & Baar 2019).

Lisämunuaisen kuorikerroksen erittämä kortisoli on tärkein katabolinen hormoni. Se erittyy kasvuhormonin tavoin pulssimaisesti erityksen ollessa korkeimmillaan aamulla ja matalimmillaan keskiyöllä. Lisäksi akuutti sekä krooninen elimistön stressitila lisää eritystä. (Kraemer ym. 2020) Lihaksissa kortisoli lisää ravintoaineiden saatavuutta: se muun muassa vähentää insuliinin ja vastaavasti lisää glukagonin eritystä sekä lisää rasvojen mobilisointia ja inhiboi kylläisyshormoni leptiinin vaikutusta. Lisäksi kortisoli mm. lisää luun hajoamista ja vaikuttaa keskushermoston toimintaan sekä ruokahalun säätelyyn. Liikaa erittyessään se heikentää immuunipuolustusta inhiboimalla siihen osallistuvien solujen toimintaa sekä saattaa aiheuttaa univaikeuksia ja kognitiivisten toimintojen heikkenemistä. (Oprea ym. 2019) Kortisolin eritystä säädelään systeemisesti hypotalamuksen erittämän kortikotropiinin vapauttajahormonin ja aivolisäkkeen etulohkon erittämän kortikotropiinin avulla. Kortisolin määrän lisääntyminen inhiboi kortikotropiinin vapautumista, eli kortisolin määrää säädelään negatiivisen palautesäätelyn avulla. (Kraemer ym. 2020)

4.2 Energiankulutusta ja ruokahalua säätelevät hormonit

Kilpirauhashormonit tyroksiini (T_4) ja sen aktiivinen muoto trijodityroniini (T_3) ovat tärkeimmät energiankulutusta säätelevät hormonit. Suurin osa kilpirauhasen tuottamista hormoneista on T_4 :a, joka muutetaan kudoksissa T_3 :ksi 5'-dejodinaasi 2-entsyymin avulla (D2). D2-entsyymiä eritetään hypotalamuksessa, valkeassa ja ruskeassa rasvakudoksessa sekä lihaksissa. T_3 tehostaa muun muassa hiilihydraatti- ja rasva-aineenvaihduntaa, ruoansulatusta, mitokondrioiden kasvua ja toimintaa, sydämen ja lihasten toimintaa, stimuloi keskushermostoa ja tehostaa natrium-kaliumpumpun toimintaa sekä lisää muiden endokriinisten rauhasen eritystoimintaa. (Mullur ym. 2014) T_3 säätelee siis useita energiankulutusta lisääviä prosesseja ja siksi sillä on havaittu olevan suora yhteys lepoenergiankulutukseen (resting energy expenditure, REE) ja ke-

hon painoon (Yavuz ym. 2019). Kilpirauhashormonien eritystä säädel­lään aivolisäkkeen etu­lohkon tuottaman tyreotropiinin avulla, jota puolestaan säätelee hypotalamuksen erittämä tyreotropiinin vapauttajahormoni, tyreoliberiini. Myös kilpirauhashormonien eritystä säädel­lään negatiivisen palautesäätelyn avulla. (Mullur ym. 2014)

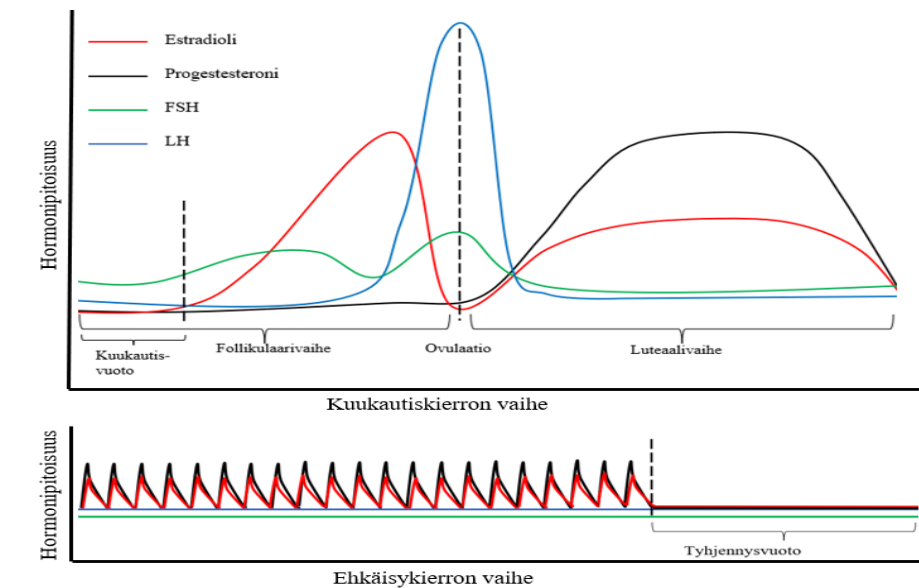
Tärkein kylläisyyttä säätelevä hormoni on leptiini. Leptiiniä eritetään pääasiassa rasvakudoksesta ja sillä on kylläisyyttä lisäävä ja ruokahalua vähentävä vaikutus. Leptiini sitoutuu ruokahalua säätelevän hypotalamuksen leptiinireseptoreihin, jonka seurauksena ruokahalua vähentävien neuropeptidien vapautuminen tehostuu ja ruokahalua lisäävien vähenee. Leptiini korreloi kehon rasvan määrän kanssa, eli sen erityks on suurempaa, kun kehossa on runsaasti rasvaa. Kuitenkin lihavuudessa saattaa kehittyä leptiiniresistenssi, jolloin leptiinin suuresta erityksestä huolimatta sen vaikutus kylläisyyteen heikkenee (Gruzdeva ym. 2019). Lisäksi energiavaje vähentää leptiinin eritystä itsenäisesti rasvan määrästä huolimatta ja toisaalta liiallinen energiansaanti lisää eritystä. Sen sijaan leptiinin yhteys energiankulutukseen on vielä epäselvä: joissain tutkimuksissa leptiini­pitoisuudella on ollut selkeä positiivinen yhteys energiankulutukseen, mutta toisten tutkimusten mukaan näiden muuttujien välillä ei ole yhteyttä. (Klok ym. 2007)

Greliini on puolestaan ruokahalua ja energiansaantia lisäävä hormoni. Se erittyy mahalaukusta ja sitoutuu greliini­reseptoriin (growth hormone secretagogue reseptor), mikä puolestaan lisää kasvuhormonin eritystä. Greliinillä on useita muitakin tehtäviä kuin ruokahalun lisääminen: se muun muassa vaikuttaa glukoosiaineenvaihduntaan vähentämällä insuliinin ja lisäämällä glukagonin eritystä. Lisäksi greliini lisää adipogeneesiä eli rasvasolujen muodostumista ja vähentää lipolyysiä eli rasvojen hajotusta. Lisäksi se suojaa lihaksia artrofialta eli surkastumiselta ja osallistuu luuston aineenvaihduntaan. (Pradhan ym. 2013)

4.3 Kuukautiskierron ja hormonaalisen ehkäisyn vaikutus hormonitoimintaan, suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen

Naisilla kuukautiskierrosta johtuva useiden hormonien pitoisuuksien vaihtelu saattaa vaikuttaa aineenvaihduntaan ja suorituskykyyn kierron eri vaiheissa. Hormonaalista ehkäisyä (hormonal contraceptive, HC) käytettäessä puolestaan hormonipitoisuudet pysyvät vakaampina ja keskimäärin alhaisempina kuin luonnollisen kierron aikana. (Elliott-Sale ym. 2020) Kuukautiskierto

jaetaan follikulaari- ja luteaalivaiheeseen, joiden taitekohdassa tapahtuu ovulaatio. Kiertoa sääteleviä hormoneja ovat follikkelia stimuloiva hormoni (FSH), luteinisoiva hormoni (LH), estradioli ja progesteroni. Tässä tutkimuksessa HC:lla tarkoitetaan monofaasisia yhdistelmäehkäisy pillereitä, joissa vaikuttavat aineet ovat estrogeeni ja progestiini. Monofaasisia pillereitä käyttäessä vakioannoksen hormoneja sisältäviä pillereitä syödään 21–26 vuorokautta, jonka jälkeen pidetään 2–7 vuorokauden tauko. Estradioli- ja progesteronitasot pysyvät läpi kierron matalana estäen FSH:n ja LH:n erityksen, jolloin munarakkula ei kehity eikä ovulaatiota tapahdu (Chidi-Ogbolu & Baar 2019). Kuvassa 4 on esitetty kuukautiskiertoa säätelevien hormonien erityksen normaalin kuukautiskierron aikana sekä monofaasisia yhdistelmäehkäisy pillereitä käyttäessä.



KUVA 4. Kuukautiskiertoa säätelevät ja sukupuolihormonit kuukautis- ja monofaasisen ehkäisykierron aikana. LH, luteinisoiva hormoni; FSH, follikkelia stimuloiva hormoni (Mukaiilu Chidi-Ogbolu & Baar 2019).

Kuukautiskierron aikana erityisesti estradiolin ja progesteronin määrän vaihtelun ajatellaan mahdollisesti vaikuttavan suorituskykyyn kierron eri vaiheissa. Estradioli vaikuttaa glukoosi- ja rasva-aineenvaihduntaan tehostamalla glukoosin varastoimista glykogeeniksi (McNulty ym. 2020) ja joidenkin tutkimusten mukaan lisäämällä rasvojen ja puolestaan vähentämällä hiilihydraatin käyttöä energiaksi kestävyysuorituksen aikana (Carmichael ym. 2021). Siten luteaalivaiheessa rasvojen osuus ATP:n tuotosta saattaa olla suurempaa ja hiilihydraatin osuus vähäisempää follikulaarivaiheen alkuun verrattuna (Willett ym. 2021) erityisesti kohtalaisella ja korkealla intensiteetillä (Carmichael ym. 2021). Progesteronin on puolestaan havaittu inhiboivan

estradiolin vaikutusta aineenvaihduntaan. Enemmistössä tutkimuksista kestävyysuorituskyky-
muuttujissa ei ole kuitenkaan havaittu eroa kuukautiskierron eri vaiheiden välillä. (Carmichael
ym. 2021)

Estradioli saattaa vaikuttaa lihasmassaan ja voimaan anabolisen vaikutuksensa ansiosta: eläin-
kokeissa estrogeenin on osoitettu olevan tärkeä hormoni lihasmassan ja voimantuoton ylläpi-
dossa (Chidi-Ogboly & Baar 2019). Myös ihmisillä tehdyissä tutkimuksissa postmenopausaa-
lisen kroonisen estrogeenin vajauksen korjaaminen estrogeenihoidolla on lisännyt voimahar-
joittelun jälkeistä lihaskasvuun liittyvien geenien ilmenemistä (Dieli-Conwright ym. 2009) sekä
muun muassa auttanut säilyttämään lihasten tehontuottoa ja mitokondrioiden toimintaa ikään-
tyessä (Pöllänen ym. 2010). Estradiolilla on myös havaittu olevan antioksidanttisia vaikutuksia,
mikä puolestaan saattaa suojata harjoittelun aiheuttamilta lihassoluvaurioilta ja tulehdusproses-
silta. Lisäksi sillä on mahdollisesti hermostoa kiihdyttävä vaikutus, joka saattaa tehostaa tah-
donalaista lihasaktivaatiota ja vähentää inhibitiota. (Carmichael ym. 2021) Joissakin tutkimuk-
sissa lihasten toiminnan on havaittu olevan tehokkaimmillaan estradiolipitoisuuden ollessa kor-
kealla ja progesteronipitoisuuden matalalla follikulaarivaiheen lopussa ja ovulaation aikana.
(McNulty ym. 2020)

Hormonaalista ehkäisyä käytettäessä estradiolin ja progesteronin pitoisuudet pysyvät jatkuvasti
hyvin matalina, joten sen käyttämisen on pohdittu vaikuttavan eri lajien suorituskykyyn. Elliott-
Salen ym. (2020) meta-analyysin perusteella ehkäisypillerien käytöllä saattaa olla negatiivinen
vaikutus suorituskykyyn verrattuna normaaliin kuukautiskiertoon, mutta ero on hyvin pieni,
ellei mitätön. HC:n käytön on havaittu olevan yhteydessä heikentyneeseen suurimpaan mitat-
tuun hapenkulutukseen (peak oxygen consumption, VO_2 peak) suorituksen aikana (Casazza ym.
2002; Joyce ym. 2013), mutta ei uupumiseen kuluvaan aikaan tai suorituksen taloudellisuuteen
(Joyce ym. 2013). Kuitenkaan yhteyttä VO_2 peak:iin ja muihin suorituskykyymuuttujiin (Ricken-
lund ym. 2004; Taipale-Mikkonen ym. 2021) tai niiden kehittymiseen (Myllyaho ym. 2021) ei
ole havaittu kaikissa tutkimuksissa. Voiman osalta ei ole havaittu eroa voimantuotossa (Elliott
ym. 2005) tai sen kehittämisessä HC:a käyttävien ja ei-käyttävien välillä (Romance ym. 2019;
Myllyaho ym. 2021), eikä HC:n aloittamisen ole havaittu vaikuttavan maksimaaliseen voiman-
tuottoon (Rickenlund ym. 2004).

Painonnousua pidetään HC:n käyttämisen mahdollisena haittavaikutuksena. Valmisteissa käytettävä etinyyliestradioli saattaa vaikuttaa reniini-angiotensiini-aldosteroni -järjestelmään ja siten lisätä mineralokortikoidien aktiivisuutta, mikä puolestaan lisää natriumin absorptiota ja nesteen kertymistä kehoon. Lisäksi HC:n käyttö saattaa lisätä ihonalaista rasvaa ja mahdollisesti myös lihasmassaa. Kolmas mahdollinen mekanismi on valmisteen vaikutus lisääntyneeseen ruokahaluun ja psykologiseen syömisen säätelyyn. (Gallo ym. 2014) Valmisteissa käytettävän progestiinin on havaittu lisäävän ruokahalua ja tunnesyömistä. Lisäksi endogeenisillä estrogeeneilla on ruokahalua vähentävä vaikutus, mikä voi myös vaikuttaa lisääntyneeseen ruokahaluun HC:n käyttäjillä endogeenisen estrogeenin erityksen estyessä. (Caldwell ym. 2020)

Kuitenkin varsinainen tutkimusnäyttö HC:n vaikutuksesta kehonkoostumukseen on varsin ristiriitaista. Nuorilla naisjuoksijoilla tehdyssä tutkimuksessa HC-ryhmän kehonkoostumuksessa tapahtuneet muutokset eivät eronneet ehkäisyä käyttämättömistä painon, rasvamassan tai rasvattoman massan osalta (Procter-Gray ym. 2008). Puolestaan voimaharjoitelleilla naisilla lihasmassa ja paino lisääntyivät kahdeksan viikon harjoittelujakson aikana vain HC-ryhmällä, mutta rasvamassassa ei tapahtunut muutoksia kummallakaan ryhmällä (Romance ym. 2019). Rickenlundin ym. (2004) tutkimuksessa painon ja rasvamassan havaittiin lisääntyvän HC:n aloittamisen jälkeen urheilijoilla, joilla oli kuukautishäiriötä (oligo-/amenorrea), mutta ei urheilijoilla tai kontrolliryhmällä, joiden kuukautiskierto oli normaali. Aktiivisilla naisilla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että lihasmassa lisääntyi ja rasvaprosentti vähentyi tilastollisesti merkitsevästi ei-hormonaalista ehkäisyä käyttävillä 10 viikon harjoittelujakson aikana, kun taas HC-ryhmällä ei tapahtunut merkitseviä muutoksia kehonkoostumuksessa. Kuitenkaan ryhmien välinen ero kehonkoostumuksen muutoksessa ei ollut merkitsevä. (Myllyaho ym. 2021) Lisäksi ylipainoisilla naisilla tehdyn kuuden kuukauden laihdutusintervention aikana paino ja rasvamassa vähenivät HC-ryhmällä ja kontrolliryhmällä yli 5 %:a, mutta intervention jälkeen HC-ryhmällä paino palasi lähes lähtötasolle 12 kuukauden aikana toisin kuin kontrolliryhmällä (Caldwell ym. 2020). Tutkimusten perusteella vaikuttaa siis siltä, että HC:n käyttö saattaa hieman lisätä painoa ja rasvamassaa erityisesti kuukautishäiriöistä kärsivillä tai hidastaa painon ja rasvamassan vähenemistä sekä lisätä painon palautumista laihdutuksen jälkeen. Kuitenkin vaikutus on yksilöllinen ja todennäköisesti melko vähäinen tai olematon, eikä kokonaistutkimusnäytön perusteella kausaalista yhteyttä ole havaittu. (Gallo ym. 2014)

4.4 Kestävyysharjoittelun vaikutus hormonitoimintaan

Kestävyysharjoittelulla on sekä akuutteja että kroonisia vaikutuksia aineenvaihduntaan ja harjoitusadaptaatioita säätelevien hormonien eritykseen ja pitoisuuksiin. Harjoittelun volyyymi ja intensiteetti vaikuttavat adaptaatioihin. (Consitt ym. 2002) Akuutisti harjoittelun aikana ja välittömästi sen jälkeen kestävysharjoittelu lisää sekä naisilla että miehillä testosteronin, kasvuhormonin, IGF-1:n ja joskus myös kortisolin (Wahl ym. 2013) ja lisäksi naisilla estradiolin pitoisuutta veressä. Hormonipitoisuudet palautuvat harjoitusta edeltäneelle tasolle joidenkin tuntien kuluttua harjoituksen päättymisestä. (Consitt ym. 2002). Wahlin ym. (2013) tutkimuksessa HIIT-harjoitukset (4 x 4 min 90–95 %:a maksimitehosta ja 4 x 30 sekuntia supramaksimaalisella intensiteetillä) aiheuttivat välittömästi harjoituksen jälkeen suuremman anabolisen vasteen kuin matalatehoinen suurivolyyminen harjoitus: intervalliharjoitusten jälkeen testosteroni, GH ja elimistön anabolisesta tilasta kertova testosteroni/kortisoli-suhde olivat korkeammalla verrattuna matalatehoiseen harjoitukseen.

Lisäksi kilpirauhashormonien (T_3 ja T_4) sekä tyreotropiinin pitoisuudet nousevat välittömästi harjoituksen jälkeen erityisesti harjoituksen intensiteetin ollessa anaerobisen kynnyksen tasolla tai korkeammalla (Ciloglu ym. 2005). Leptiini laskee akuutisti, jos harjoitus kuluttaa runsaasti energiaa (> 800 kcal). Lyhyellä tai vähän energiaa kuluttavalla harjoituksella ei näyttäisi olevan vaikutusta leptiinin eritykseen. (Bouassida ym. 2010) Kuormitus ei useimpien tutkimusten mukaan vaikuta kokonaisgreliinin pitoisuuteen, mutta aktiivisen muodon, asyyligreliinin, pitoisuus laskee useiden tutkimusten mukaan harjoituksen aikana ja sen jälkeen (Ouerghi ym. 2021).

Kestävyysharjoittelun krooniset vaikutukset aineenvaihduntaa sääteleviin hormoneihin ovat epäselvempiä kuin akuutit vasteet, koska hormonitoimintaan vaikuttaa harjoittelun lisäksi muun muassa elimistön energiastatus, ikä ja naisilla kuukautiskierto. Naisilla testosteronipitoisuudet ovat luonnostaankin hyvin matalat ja säännöllinen kestävysharjoittelu saattaa laskea niitä entisestään, mutta tulokset ovat osittain ristiriitaisia (Consitt ym. 2002). Myös estrogeenipitoisuuksien on raportoitu laskevan harjoittelun alettua, mutta se saattaa johtua liian vähäisestä energiansaannista harjoituskuormaan nähden, eikä varsinaisesti harjoittelusta itsestään (Sokoloff ym. 2016). GH:n ja IGF-1:n pitoisuudet saattavat nousta harjoittelun myötä, erityisesti harjoittelun ollessa melko korkeaintensiteettistä (Weltman ym. 1992). Tutkimusnäyttö kestävysharjoittelun vaikutuksista kortisolipitoisuuksiin on osittain ristiriitaista. Pääsääntöisesti harjoittelun ei ole havaittu vaikuttavan kortisolipitoisuuksiin levossa (Consitt ym. 2002),

mutta huippu-urheilijoilla kortisolipitoisuuksien on havaittu olevan korkeampia kuin alhaisemman tason kilpaurheilijoilla (Filaire ym. 1998) Kortisolin pitoisuus voi nousta esimerkiksi ylikuormituksen tai kilpailukauden aikana, kun elimistö on jatkuvan stressin alla. (Consitt ym. 2002)

Kilpirauhashormonien osalta kestävyysharjoittelun krooniset vaikutukset ovat osittain epäselviä. Joidenkin tutkimusten mukaan harjoittelu ei ole vaikuttanut tyreotropiinin, T_4 :n ja T_3 :n pitoisuuksiin, kun taas joissakin tutkimuksissa erityisesti T_3 :n ja T_4 :n pitoisuudet ovat laskeneet säännöllisen harjoittelun seurauksena (Erdogan 2020). Kuitenkin myös kilpirauhashormonien muutoksiin saattaa harjoittelua enemmän vaikuttaa energiastatus, joka voi muuttua lisääntyneen fyysisen aktiivisuuden seurauksena. (Arkader ym. 2016) Myös leptiinin osalta tulokset ovat osittain ristiriitaisia, mutta useimmissa tutkimuksissa säännöllinen harjoittelu on vähentänyt leptiinipitoisuuksia erityisesti, jos rasvamassa on vähentynyt intervention aikana. Myös energiastatus vaikuttaa leptiinin muutoksiin. Kuitenkin leptiiniherkkyys voi parantua erityisesti ylipainoisilla, jolloin vaikutus voi vähentyneestä erityksestä huolimatta olla kylläisyyttä lisäävä. (Bouassida ym. 2010) Vastaavasti greliinin erityis lisääntyy harjoittelun seurauksena erityisesti ylipainoisilla henkilöillä, joiden rasvamassa vähenee (Ouerghi ym. 2021; Tremblay ym. 2019).

Hormonipitoisuuksia ja niiden muutoksia tarkasteltaessa on hyvä huomata, että säännöllinen kestävyysharjoittelu vaikuttaa verivolyyymiin, mikä puolestaan tulisi huomioida hormonipitoisuuksien määrittämisessä. Muutos plasman volyymissä havaitaan vain päiviä harjoittelun aloittamisen jälkeen. Harjoittelun jatkuessa myös punasolujen määrä eli hematokriitti lisääntyy tehostuneen erytropoietiinin tuoton ansioita, mutta muutos havaitaan vasta viikkojen tai jopa kuukausien kuluttua harjoittelun aloittamisesta. Yhdessä plasman ja hematokriitin määrän lisääntyminen lisäävät verivolyyymia säännöllisen harjoittelun seurauksena, jolloin verestä mitattavien aineiden pitoisuus alenee, vaikka erityis pysyisi vakiona. Kuitenkin pitkän aikavälin muutoksia verivolyyymissa on hyvin haastavaa mitata, joten verivolyymin muutoksen vaikutusta hormonipitoisuuksiin on hankalaa arvioida. (Sawka ym. 2000)

5 ENERGIAN SAATAVUUDEN VAIKUTUS HORMONITOIMINTAAN, KEHONKOOSTUMUKSEEN JA SUORITUSKYKYYN

Normaali hormonitoiminta on ensiarvoisen tärkeää terveyden, kehonkoostumuksen ja myös suorituskyvyn kannalta. EA:n ollessa optimaalinen, elimistössä riittää energiaa normaalin hormonitoiminnan ylläpitämiseen. Samoin kehonkoostumus pysyy suhteellisen vakaana, koska elimistö on energiatasapainoisessa tilassa. (Loucks ym. 2011) Energiaa riittää anabolisiin prosesseihin ja esimerkiksi lihasmassaa voidaan ylläpitää ja kasvattaa. Suurempi kuin 45 kcal/kg FFM/vrk sopii parhaiten lihasmassan kasvattamiseen, mutta myös rasvamassa tyypillisesti lisääntyy energiatasapainon ollessa positiivinen. Vähentynyt ja matala EA puolestaan vaikuttavat jo melko nopeasti hormonitoimintaan ja pidempään jatkuessaan myös kehonkoostumukseen. Nämä muutokset voivat heijastua suorituskykyyn ja sen kehittymiseen. Lisäksi LEA:lla on joi-takin suoria vaikutuksia suorituskyvyn taustalla oleviin tekijöihin. (Melin ym. 2019)

5.1 Matalan energian saatavuuden vaikutus hormonitoimintaan

Useat LEA:n vaikutukset elimistön toimintaan johtuvat hormonitoiminnan muutoksista ja joskus siinä tapahtuneet muutokset ovat ensimmäisiä havaittavia merkkejä LEA:sta. LEA ja energiavaje viestittävät elimistölle, että energiaa tarvitsee säästää energiankulutusta vähentämällä ja energiansaantia lisäämällä. (Dipla ym. 2021)

LEA:n seurauksena energiatasapainoa säätelevistä hormoneista leptiinin, insuliinin, T₃:n ja T₄:n erityis vähenee ja vastaavasti greliinin ja katabolisen hormonin kortisolin erityis lisääntyy. Anabolisista hormoneista IGF-1:n ja insuliinin erityis vähenee samalla, kun greliinin säätelemän GH:n erityis lisääntyy. Monet GH:n vaikutuksista ovat kuitenkin IGF-1:n välittämiä, joten resistenssi GH:lle tyypillisesti lisääntyy ja GH:n anabolinen vaikutus jää vähäiseksi. Kuukautiskiertoa säätelevistä hormoneista estradiolin ja progesteronin erityis vähenee ja FSH:n sekä LH:n erityis ei muutu tai vähenee. (Elliott-Sale 2018) LEA:n aiheuttamien hormonitoiminnan muutosten seurauksena REE tyypillisesti vähenee, kuukautishäiriöitä ilmenee, luuston massa ja mineraalitiheys heikkenevät ja paino, rasvamassa ja rasvaton massa vähenevät. (Dipla ym. 2021)

Loucks ja Thuma (2003) tutkivat lyhytaikaisen LEA:n vaikutuksia hormonitoimintaan naisilla, joiden kuukautiskierto oli normaali. Tutkittaville tehtiin viiden päivän mittausjakso EA:n ollessa 45 kcal/kg FFM/vrk, jonka jälkeen tutkittavat jaettiin matalan EA:n ryhmiin, joissa EA oli 10, 20 tai 30 kcal/kg FFM/vrk ja tehtiin samanlainen viiden päivän mittausjakso. Jaksojen aikana tutkittavat tekivät päivittäin harjoituksen, joka kulutti energiaa 15 kcal/kg FFM. Tutkimuksessa havaittiin, että mitä pienempi EA oli, sitä suurempia GH:n ja kortisolin ja puolestaan pienempiä IGF1:n, T₃:n, leptiinin, insuliinin ja glukoosin pitoisuuksia mitattiin. Lisäksi havaittiin, että tärkeän kuukautiskiertoa säätelevän hormonin, LH:n erityksen pulssien frekvenssi väheni, kun EA oli alle 30 kcal/kg FFM/vrk. Tutkimus osoittaa, että jo hyvin lyhyt altistuminen LEA:lle aiheuttaa merkittäviä muutoksia elimistön hormonitoiminnassa. (Loucks & Thuma 2003)

Melin ym. (2014) tarkastelivat LEA:n riskissä olevien urheilijoiden identifioimiseen tarkoitettua LEAF-Q-kyselyn tulosten yhteyttä hormonitoimintaan. Kyselyssä selvitettiin LEA:n oireiden, kuten loukkaantumisten, suoliston epänormaalin toiminnan ja kuukautishäiriöiden ilmenemistä. Urheilijat jaettiin kyselyn tuloksen mukaan kahteen ryhmään: niihin, joilla oli riski matalalle energian saatavuudelle (tulos ≥ 8) ja niihin, joilla riskiä ei ollut (tulos < 8). Riskissä olevien urheilijoiden T₃- ja leptiinipitoisuudet olivat pienempiä ja kortisolipitoisuus tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin ei-riskissä olevilla. Lisäksi riskissä olevien paino ja rasvaprosentti olivat pienempiä. (Melin ym. 2014)

5.2 Matalan energian saatavuuden vaikutus kehonkoostumukseen

Anabolisten prosessien väheneminen ja katabolisten lisääntyminen energiavajeessa vaikuttavat pitkällä aikavälillä kehonkoostumukseen. Lihasmassan säilyttäminen ja lisääminen riippuu lihasproteiinisynteesin ja -hajotuksen suhteesta. Proteiinisynteesi on paljon energiaa kuluttava prosessi, joten luonnollisesti EA vaikuttaa synteesin määrään. Aretan ym. (2014) tutkimuksessa havaittiin viisi vuorokautta jatkuneen LEA:n (30 kcal/kg FFM/vrk) vähentäneen synteesiä leivossa jopa 27 %:a verrattuna optimaaliseen EA:een (45 kcal/kg FFM/vrk). Lisäksi kestävyysharjoittelun jälkeen lihasproteiinin hajotus tyypillisesti lisääntyy hetkellisesti ilman energiavajettakin. LEA tehostaa entisestään hajotusta ja puolestaan vähentää synteesiä, joten kestävyysharjoittelu yhdistettynä matalaan energian saatavuuteen on voimakas signaali lihasproteiinin hajotukselle ja siten lihasmassan vähenemiselle. (Smiles ym. 2016)

Tyypillisesti LEA on yhteydessä myös vähentyneeseen rasvamassaan ja kehonpainoon. Kuitenkaan pelkän laskennallisen energiavajeen perustella ei voida ennustaa kehonkoostumuksen muutosta pitkällä aikavälillä, koska lepoenergiankulutuksen väheneminen energiavajeessa pienentää todellista energiavajeen suuruutta. Lisäksi on mahdollista, että niukan energiansaannin ja/tai lisääntyneen harjoittelun sekä näistä johtuvan energiavajeen seurauksena harjoitteluun liittymätön fyysinen aktiivisuus vähenee (Redman ym. 2009), mutta ilmiötä ei ole havaittu johdonmukaisesti kaikissa tutkimuksissa. (Silva ym. 2018) Joka tapauksessa elimistö pyrkii kompensoimaan vähentynyttä energiansaantia vähentämällä energiankulutusta, jolloin kehonkoostumuksessa havaitut muutokset eivät välttämättä ole niin suoraviivaisia kuin voisi olettaa. (Redman ym. 2009)

Koehlerin ym. (2016) tutkimuksessa seurattiin lähes energiatasapainossa (-161 ± 39 kcal) sekä kohtuullisessa (-633 ± 71 kcal) ja suuressa (-1062 ± 80 kcal) energiavajeessa olevia normaali-painoisia naisia kolmen kuukauden ajan. Tutkittavien aineenvaihduntaa säätelevät hormonit, kehonkoostumus ja paino mitattiin ennen ja puolivälissä seuranta sekä sen jälkeen. Suurimassa energiavajeessa olevien, IGF-1 ja T_3 olivat puolivälissä seuranta alentuneita lähtötasoon verrattuna ja T_3 pysyi alentuneena koko seurannan ajan. Lepoenergiankulutus väheni energiavajeessa olevilla ja puolestaan lisääntyi energiatasapainossa olevilla. Paino ja rasvamassa vähenivät molemmilla energiavajeessa olevilla ryhmillä, mutta huomattavasti laskennallista vähemmän: mitä suurempi energiavaje oli, sitä vähemmän paino ja rasvamassa vähenivät suhteessa laskennalliseen energiavajeeseen. Adaptoituminen energiavajeeseen oli kuitenkin hyvin yksilöllistä, eli osalla kehonkoostumus muuttui selvästi enemmän kuin toisilla. (Koehler ym. 2016)

5.3 Matalan energian saatavuuden vaikutus suorituskykyyn

Energian saatavuutta on tutkittu eniten kestävyysurheilijoilla, koska runsaan energiankulutuksen takia kestävyyslajeissa riski LEA:lle on suuri. Siitä huolimatta EA:n suoraa yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn tai muihin laboratoriomittauksiin ei ole juurikaan tutkittu. Kuitenkin EA:n on havaittu vaikuttavat moniin suorituskyvyn taustalla oleviin tekijöihin.

LEA on yhteydessä matalaan rautastatukseen ja hemoglobiiniin. Elimistön rautastatus on tärkeä hapenkuljetuskapasiteettiin vaikuttava tekijä: rautaa tarvitaan Hb:n eli punasolujen happea kuljettavan proteiinin sekä kudosten happea sitovan myoglobiinin muodostumiseen. Lisäksi rautaa tarvitaan muun muassa oksidatiiviseen energiantuottoon. Anemian eli alhaisen Hb:n sekä raudanpuutoksen ilman anemiaa on havaittu heikentävän harjoitusadaptaatioita ja esimerkiksi VO₂max:a. (Hinton 2014) Energiansaannin ollessa liian vähäistä myös raudansaanti jää vähäiseksi, mikä lienee tärkein syy matalille rauta-arvoille EA:n ollessa matala. (Finn ym. 2021) Jos riittämättömään EA:een yhdistyy runsas fyysisen aktiivisuuden määrä, myös harjoittelu voi aiheuttaa raudan menetystä mm. hikoilun, hemolyysin ja ruoansulatuskanavan verenvuotojen myötä. Lisäksi on havaittu, että LEA on itsenäisesti, ilman tulehdusreaktiota, yhteydessä raudan imeytymistä heikentävän hormonin, hepsidiinin, korkeampiin pitoisuuksiin. Myös energiavajeessa harjoittelun on havaittu lisäävän hepsidiinin tuottoa akuutisti harjoittelun jälkeen (Henigar ym. 2021), sillä lihasten glykogeenivarastojen tyhjeneminen lisää hepsidiinin eritystä ja energiavajeessa glykogeenivarastot ovat alentuneet. Käytännössä siis LEA:n seurauksena myös raudan imeytyminen heikkenee. (McKay ym. 2020) Matala rautastatus lisäksi voimistaa LEA:n vaikutuksia, koska se on suoraan yhteydessä esimerkiksi vähentyneeseen kasvu- ja kilpirauhashormonien tuottoon ja ruokahalun vähentymiseen. (Finn ym. 2021)

EA vaikuttaa akuutisti ja pitkällä aikavälillä lihasten glykogeenivarastojen suuruuteen. Kojiman ym. (2020) tutkimuksessa kestävyysjuoksijat suorittivat kaksi kolmen päivän harjoitusinterventiota, jonka aikana juostiin joka päivä 75 min 70 %:a VO₂max:sta. Toisen intervention aikana EA oli optimaalinen (52.9 ± 5.0 kcal/kg FFM/vrk) ja toisen aikana matala (18.9 ± 1.9 kcal/kg FFM/vrk). LEA:n seurauksena glykogeenivarastot pienenevät päivä päivältä ollen neljäntenä päivänä noin 30 %:a pienemmät ensimmäiseen päivään verrattuna. Optimaalisen EA:n aikana glykogeenivarastot palautuivat lähtötasolle jokaisen harjoituksen jälkeen. Ero interventioiden välillä oli tilastollisesti merkitsevä toisesta päivästä lähtien. (Kojima ym. 2020) EA vaikuttaa siis glykogeenivarastojen täydentymiseen suorituksen jälkeen, mikä puolestaan on tärkeää kuormituksesta palautumisen kannalta. Koska glykogeeni on tärkeä energianlähde kestävyysuorituksen aikana, vajaat glykogeenivarastot heikentävät suorituskykyä erityisesti korkeilla intensiteeteillä. Glykogeenin vähyden seurauksena energiaa tuotetaan enemmän rasvoista, jolloin korkea intensiteettiä ei voida ylläpitää. Jos harjoittelu tapahtuu jatkuvasti tyhjillä glykogeenivarastoilla ja samalla matalammalla intensiteetillä, voivat harjoitusadaptaatiot pitkällä aikavälillä jäädä vähäisemmäksi. (Knuiman ym. 2015) Lisäksi vajaat glykogeenivarastot

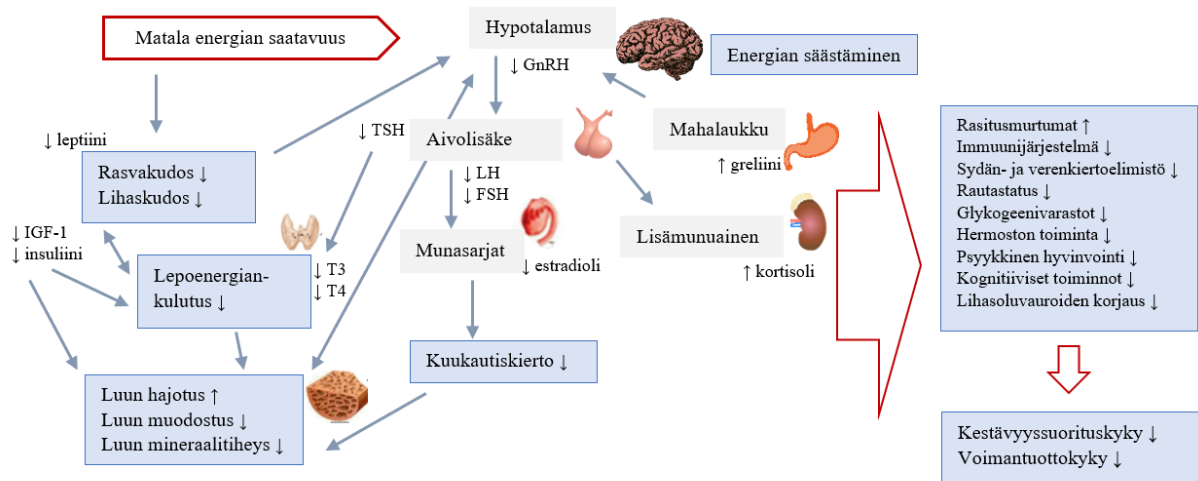
altistavat nestevajelle ja korkeammille laktaattipitoisuuksille, jotka puolestaan lisäävät lihaskipujen ja kramppien riskiä sekä väsymystä akuutisti kuormituksen aikana. (Logue ym. 2018)

EA:n tai energiavajeen yhteyttä tietyn lajin suorituskykyyn on tutkittu jonkin verran. Vanheest ym. (2014) tutkivat energiavajeesta johtuvan estradiolin ja progesteronin vähentyneen erityksen yhteyttä 400 m uintiaikaan nuorilla kilpauimareilla 12 viikon kilpailuun valmistavan kauden aikana. He havaitsivat, että uintiaika heikentyi keskimäärin 9,8 %:a uimareilla, joiden sukupuolihormonien tuotto oli vähentynyt, kun taas uimarit, joiden hormonitoiminta oli normaalia, paransivat uintiaikaa 8,2 %:a. Ryhmällä, jossa sukupuolihormonien erityks oli vähentynyt, ilmeni oligomenorreaa eli pidentynyt kuukautiskiertoa ennen tutkimusjaksoa ja sen aikana. Vastaavasti ryhmällä, joiden sukupuolihormonien erityks oli tavanomaista, kierron pituus oli normaali (26–33 vrk) läpi tutkimuksen. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin energiastatusta indikoivien muuttujien korrelaatioita uintiaikaan ja uintiajan havaittiin korreloivan positiivisesti EA:n, EI:n, IGF-1:n sekä T₃ kanssa. Tutkimuksen johtopäätös oli, että sukupuolihormonien vähentynyt tuotto yhdistettynä LEA:sta johtuvaan vähentyneeseen aineenvaihduntaan on yhteydessä suorituskyvyn heikkenemiseen. (Vanheest ym. 2014)

Woods ym. (2017) puolestaan tutkivat 4 viikon intensiivisen harjoitusjakson vaikutusta 5 km:n soudun loppuaikaan sekä lepoenergiankulutukseen ja kehonkoostumukseen. Tutkittavien energiansaanti ei muuttunut jakson aikana, vaikka energiankulutus lisääntyi, joten tutkittavat olivat jakson aikana energiavajeessa. Soudun loppuaika heikkeni ja lepoenergiankulutus, rasvamassa ja paino vähenivät tilastollisesti merkitsevästi jakson aikana. Lisäksi tutkittavien kokema väsymys lisääntyi ja yleinen mieliala heikkeni. Tutkijat arvelivat muutosten johtuneen pääasiassa energiavajeesta ja vähentyneestä energian saatavuudesta, mutta energiavajetta tai EA:ta ei mitattu eikä siten niiden yhteyttä suorituskyvyn heikkenemiseen suoranaisesti tarkasteltu. (Woods ym. 2017)

EA:n vaikutusta voimantuottokykyyn on tutkittu vielä vähemmän kuin sen vaikutusta kestävyys- ja suorituskykyyn. Kuitenkin LEA:sta johtuvat hormonitoiminnan muutokset sekä niiden seurauksena tapahtuneet kehonkoostumuksen muutokset voivat pitkällä aikavälillä vaikuttaa myös voimaominaisuuksiin. Tärkeimmät voimantuottokykyyn vaikuttavat tekijät ovat lihasmassan määrä sekä hermoston toiminta ja adaptoituminen harjoitteluun. Pitkään jatkuneen LEA:n seurauksena lihasmassa pienenee vähentyneen proteiinisynteesin ja lisääntyneen prote-

iinien hajotuksen seurauksena. Maksimaalisen voimantuoton aikana lihasten tärkeimpiä energianlähteitä ovat lihasten ATP ja fosfokreatiini. Vähentynyt T₃:n erityös heikentää mitokondrioiden kykyä tuottaa ATP:a lihaksissa, mikä hidastaa fosfokreatiinin muodostusta suorituksen aikana. ATP:n tuotto vähenee myös hermosoluissa, jonka seurauksena natrium-kaliumpumpun toiminta heikkenee ja siten hermoimpulssien välittyminen hidastuu. (Tornberg ym. 2017) Lisäksi alentuneet glykogeenivarastot voivat heikentää voimantuottoa pidempikestoisissa (> 10 s) suorituksissa (Knuiman ym. 2015). LEA saattaa vaikuttaa voimantuottoon siis vähentyneen lihassmassan, suorituksen aikaisten energiavarastojen ja mahdollisesti heikentyneen hermoston toiminnan kautta (Tornberg ym. 2017). Kuvaan 3 on koottu tärkeimmät LEA:n vaikutukset elimistön toimintaan.



KUVA 3. Yhteenveto matalan energian saatavuuden vaikutuksista hormonitoimintaan, terveyteen ja suorituskyykyyn. FSH, follikkelia stimuloiva hormoni; GnRH, gonadotropiinin vapauttajahormoni; IGF-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1; LH, luteinisoiva hormoni; T₃, trijodityroniini; T₄, tyroksiini; TSH, tyreotropiini (Mukailtu Dipla ym. 2021).

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka laadukkaita pitkittäistutkimuksia EA:n vaikutuksesta suorituskyyvyn kehittymiseen ei ole tehty, sen tiedetään vaikuttavan esimerkiksi rautastatukseen, immuunijärjestelmän toimintaan sekä loukkaantumisriskiin ja siten terveiden harjoituspäivien määrään ja harjoittelun laatuun. (Wasserwurth ym. 2020) Lisäksi tiedetään, että jo hyvin lyhytaikainen altistuminen LEA:lle vaikuttaa hormonitoimintaan (Kettunen ym. 2021; Loucks & Thuma 2003), lihasten glykogeenivarastoihin, väsymykseen ja psyykkisiin tekijöihin negatiivisesti. Kuitenkaan muutamia päiviä kestävä LEA ei välttämättä vaikuta suorituskyykymuuttujiin, kuten VO₂max:iin, kynnsominaisuuksiin, uupumiseen kuluvaan aikaan tai suorituksen aikaisiin laktaattiarvoihin. (Kojima ym. 2020)

6 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

1. Onko energian saatavuudella yhteyttä aineenvaihduntaa säätelevien hormonien toimintaan harjoitusjakson aikana?

Hypoteesi: Kyllä. Energian saatavuuden ollessa riittävää hormonaalinen toiminta on normaalia, eikä pitoisuuksissa tapahdu merkittäviä muutoksia (Loucks & Thuma 2003; Melin ym. 2019). Matalan energian saatavuuden on puolestaan havaittu olevan yhteydessä vähentyneeseen kilpirauhashormonien (T_3 ja T_4), leptiinin, insuliinin ja IGF-1:n eritykseen sekä lisääntyneeseen kortisolin ja greliinin eritykseen (Elliot-Sale ym. 2018). Lisäksi harjoittelulla saattaa olla joitakin itsenäisiä, EA:sta riippumattomia, vaikutuksia mitattuihin hormonipitoisuuksiin (Consitt ym. 2002; Erdogan ym. 2018).

2. Onko energian saatavuudella yhteyttä lihasmassan ja kehonkoostumuksen muutokseen harjoitusjakson aikana?

Hypoteesi: Kyllä. Energian saatavuuden ollessa noin 45 kcal/kg FFM/vrk elimistö on energiatasapainoisessa tilassa, jolloin paino pysyy melko vakiona ja lihasmassan ylläpitäminen on mahdollista (Loucks ym. 2011). Pienempi energian saatavuus on yhteydessä painon, lihasmassan ja rasvamassan (Carbone ym. 2012) vähenemiseen. Kuitenkin matala energian saatavuus on yhteydessä myös pienempään lepoaineenvaihduntaan (Elliott-Sale ym. 2018) ja mahdollisesti pienempään ei-harjoitteluun liittyvään aktiivisuuteen (Silva ym. 2018), joten kehonkoostumuksen muutos voi olla laskennallista pienempi. (Koehler ym. 2016)

3. Onko energian saatavuudella yhteyttä kestävyys suorituskyvyn ja voiman muutokseen harjoitusjakson aikana?

Hypoteesi: Kyllä. Suorituskyvyn kehittämisen kannalta optimaalinen energian saatavuus on noin 45 kcal/kg FFM/vrk. Tällöin elimistö pystyy tehokkaasti palautumaan kuormituksesta ja harjoitusadaptaatioita voi syntyä. Myös lihasmassaa pystytään ylläpitämään kestävyys harjoittelusta huolimatta paremmin kuin alhaisemmalla energian saatavuudella, jolloin myös voimaominaisuuksien ylläpitäminen on mahdollista. (Melin ym. 2019) Vastaavasti pitkään jatkunut matala energian saatavuus heikentää harjoitusvasteita, koska se vaikuttaa negatiivisesti muun muassa hermolihaskäytön toimintaan (Tornberg ym. 2017), glykogeenivarastojen

täydentämiseen (Kojima ym. 2020), hapenkuljetuskapasiteettiin (Finn ym. 2021), palautumiseen, terveisiin harjoituspäiviin ja psyykkiseen hyvinvointiin (Melin ym. 2019; Mountjoy ym. 2018).

7 MENETELMÄT

Tutkimus oli osa laajempaa Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisen tiedekunnan NaisQs-tutkimusprojektia. Mittaukset toteutettiin vuosina 2022 ja 2023 Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriolla. Tutkimuksella on Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksymä lausunto.

7.1 Tutkittavat

Tutkittavina oli 13 fyysisesti aktiivista 18–35-vuotiasta perustervettä naista, jotka eivät harrastaneet tavoitteellista urheilua. Tutkimukseen valituilla BMI:n tuli olla 19,5–35 kg/m². Tutkimukseen haettiin naisia, joilla oli joko normaali kuukautiskierto (28–35 vrk) ja jotka eivät olleet käyttäneet mitään hormonaalista ehkäisyä kuluneen 12 kuukauden aikana tai jotka käyttivät monofaasisia ehkäisytabletteja tutkimuksen aikana ja vähintään 12 kuukautta ennen tutkimusta. Tutkittavista kuusi käytti hormonaalista ehkäisyä ja seitsemän ei käyttänyt. Tutkimuksen pois-sulkukriteereitä olivat juoksua haittaavat tuki- ja liikuntaelinvaivat, raskaus ja imetys sekä krooniset sairaudet ja lääkitykset pois lukien astma ja allergia. Tutkittavat täyttivät esitietolomakkeen, jonka lääkäri tarkasti ennen tutkimukseen hyväksymistä. Tutkittavat olivat vapaaehtoisia ja heillä oli oikeus keskeyttää tutkimus missä vaiheessa tahansa kertomatta syytä keskeyttämiselle. Tutkittavia informoitiin tutkimuksen tarkoituksesta, etenemisestä sekä mahdollisista hyödyistä ja haitoista tutkittavalle. Tutkittavat täyttivät suostumuslomakkeen ennen tutkimuksen alkamista. Taulukossa 1 on esitetty tutkittavien taustatiedot, jotka on kerätty ensimmäisten mittausten yhteydessä.

TAULUKKO 1. Tutkittavien taustatiedot ensimmäisissä mittauksissa ennen interventiota.

n	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Kehon massa (kg)	BMI (kg/m ²)	VO ₂ max (ml/kg/min)
13	29 ± 4,5	165,9 ± 4,0	66,7 ± 9,3	24,1 ± 2,7	39,8 ± 4,6

BMI, painoindeksi (body mass index); VO₂max, maksimaalinen hapenottookyky.

7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksessa selvitettiin energian saatavuuden yhteyttä kehonkoostumuksen, aineenvaihduntaa säätelevien hormonien sekä suorituskyvyn muutoksiin 16 viikon harjoitusjakson aikana. Tutkittavat suorittivat yhden kuukautiskierron tai e-pilleriliuskan (mukaan lukien lumepillerijakson/tauon) mittaisen kontrollijakson ja kaksi noin kahdeksan viikkoa, eli kaksi kuukautiskiertoa tai e-pilleriliuskaa, kestäväää harjoitusjaksoa. Ensimmäinen harjoitusjakso sisälsi kohtuukuormitteista kestävyysharjoittelua (moderate intensity exercise training, MIET) ja jälkimmäinen korkeaintensiteettistä intervalliharjoittelua (high intensity interval training, HIIT). Harjoitusjaksot on kuvattu taulukossa 2.

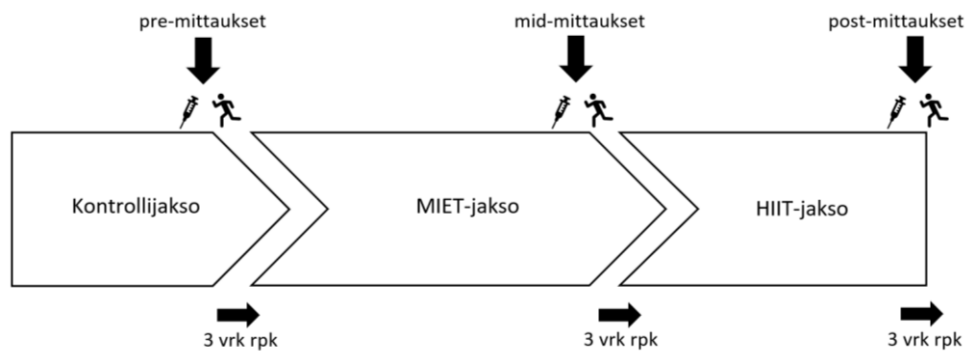
TAULUKKO 2. MIET- ja HIIT-jaksojen harjoitusintensiiteetti, -frekvenssi ja -volyyymi.

Viikko	MIET-jakso: 60–75 %:a HR _{max}	HIIT-jakso: 10 min lämmittely 60–65 %:a HR _{max} 4 x 4 min 80–90 %:a HR _{max} (3 min palautus 60–65 %:a HR _{max}) 10min jäähyttely 60–65 %:a HR _{max}
1 (testiviikko)	2 harjoitusta (90 min)	2 harjoitusta (58 min)
2	3 harjoitusta (150 min)	2 harjoitusta (58 min)
3	3 harjoitusta (180 min)	2 harjoitusta (58 min)
4	3 harjoitusta (195 min)	2 harjoitusta (58 min)
5	3 harjoitusta (165 min)	2 harjoitusta (58 min)
6	3 harjoitusta (195 min)	2 harjoitusta (58 min)
7	3 harjoitusta (210 min)	3 harjoitusta (87 min)
8 (testiviikko)	1 harjoitus (60 min)	1 harjoitus (29 min)

HIIT-jakso, korkeaintensiteettinen kestävyysharjoittelujakso; HR_{max}, maksimisyke; MIET-jakso, kohtuukuormitteinen kestävyysharjoittelujakso.

Mittaukset suoritettiin ennen intervention alkua (pre), MIET-jakson lopussa (mid) ja HIIT-jakson jälkeen (post). Tutkittavien, joilla oli normaali kuukautiskierto, mittaukset tehtiin kuukautiskierron follikulaarivaiheen alussa kiertopäivien 1–5 aikana ja ehkäisytabletteja käyttävien ehkäisytablettiliuskan päivien 1–5 aikana. Mittaukset toteutettiin aina kahtena peräkkäisenä päivänä: ensimmäisenä päivänä suoritettiin paastomittaukset aamulla ja toisena päivänä suorituskykymittaukset normaalissa ravitsemustilassa. Tutkittavat täyttivät ruokapäiväkirjoja aina

kolme päivää alkaen suorituskykytestien jälkeisestä päivästä. Harjoitus- ja kuukautispäiväkirjaa täytettiin koko tutkimuksen ajan. Kuvassa 4 on esitetty tutkimuksen kulku.



KUVA 4. Tutkimuksen kulku. MIET-jakso, kohtuukuormitteinen kestävyysharjoittelujakso; HIIT-jakso, korkeaintensiteettinen kestävyysharjoittelujakso; rpk, ruokapäiväkirja.

7.3 Aineiston keräys ja analysointi

Paastomittaukset eli kehonkoostumusmittaukset ja verinäytteen otto, suoritettiin vähintään 10 tunnin paaston jälkeen noin kello 6:00–9:00 välisenä aikana. Suorituskykymittaukset eli isometrisen maksimivoimatesti ja maksimaalisen hapenottokyvyn testi, tehtiin paastomittausten jälkeisenä päivänä normaalissa ravitsemustilassa noin kello 09:00–21:00 välisenä aikana. Samalla tutkittavalla mittausaika pyrittiin pitämään mittauksissa suunnilleen samana.

7.3.1 Paastomittaukset

Bioimpedanssimittaus. Kaikissa paastomittauksissa kehonkoostumusta mitattiin biosähköisellä impedanssimittauksella (BIA). Ennen mittausta tutkittavan jalkapohjat ja kämmenet desinfioitiin sekä metalliesineet poistettiin. Mittauksen aikana tutkittava seiso i BIA-laitteen (Inbody™ 770, Biospace Co., Seoul, Korea) päällä kahvat käsissään pitäen kätet suorana vartalon sivuilla irti vartalosta. Laitteen toiminta perustuu kudosten erilaiseen sähköjohtavuuteen: laite johtaa kehon läpi vähäisen sähkövirran ja mittaa kudosten aiheuttamaa vastusta eli impedanssia jonka avulla se arvioi kehonkoostumuksen ennusteyhtälöihin perustuen (Kyle ym. 2004).

Hormonipitoisuudet. Paastomittausten yhteydessä otettiin paastoverinäyte kyynärlaskimosta seerumiputkiin (Vacuette® TUBE, Greiner Bio-One, Itävalta) sekä EDTA-putkiin (Vacuette® TUBE, Greiner Bio-One, Yhdysvallat). Näytteitä sentrifugoitiin 15 minuuttia 2245 g:n voimalla (Megafuge 1.0R, Heraeus, Saksa) ja ne esipakastettiin välittömästi -20 °C:een, jonka jälkeen ne siirrettiin -80 °C:een odottamaan analysointia. Näytteenotosta ja käsittelystä vastasi erikoislaboratoriomestari.

Näytteestä analysoitiin seerumin T₃:n, IGF-1:n, kortisolin, leptiinin, E₂:n sekä P₄:n pitoisuudet. Hormonipitoisuudet määritettiin immunologisella kemiluminesenssi tekniikalla käyttäen Immulite®2000 XPI-analysointia (Siemens, Llanberis, Iso-Britannia) ja leptiinin osalta ELISA-menetelmällä (Biovendor) Dynex DS 2-analysointia (Dynex Technologies, Chantilly, VA, Yhdysvallat) käyttäen. Menetelmien erottelukyky (sensitiivisyys) T₃:lle on 1,5361 nmol/l ja variaatiokerroin (CV) 8,1 %:a, IGF-1:lle 0,26 nmol/l ja CV 6,6 %:a &, kortisolille 5,518 nmol/l ja CV 8,2 %:a, E₂:lle 55,1 pmol/l ja CV 6,8 %:a, P₄:lle 0,30 nmol/l ja CV 9,7 %:a, ja leptiinille 0,2 ng/ml ja CV 4,2 %:a.

7.3.2 Suorituskykymittaukset

Ennen suorituskykytestejä tutkittava lämmitteli kävellen tai kevyesti juosten juoksumatolla kolme minuuttia sekä teki dynaamisia lämmittelyliikkeitä kehonpainolla (10 kyykkyä, 10 askelkyykkyä, 10 sivukyykkyä sekä 10 päkiälle nousua) ja halutessaan lisäksi joitakin omia lämmittelyliikkeitään. Ennen testejä suoritettiin vielä 2–3 kevyttä esikevennyshyppyä ja 3–5 maksimaalista esikevennyshyppyä yhden minuutin palautuksella, mutta näitä tuloksia ei käytetty tässä opinnäytetyössä. Lisäksi edellisenä aamuna tutkittavat suorittivat maksimaalisen rasvahapetuksen testin kävellen juoksumatolla. Kyseisessä testissä maton nopeutta tai kulmaa nostettiin 4 minuutin välein, kunnes saavutettiin hengitysosamäärä 0,95. Edeltävän päivän testi on saattanut aiheuttaa lihasarkuutta ja vaikuttaa suorituskykytestejä edeltävään palautumistilaan.

Isometrinen maksimivoimatesti suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen valmistamalla isometrisellä jalkaprässillä ja Signal 4.11 -ohjelmistolla (Cambridge Electronic Design, Iso-Britannia). Ennen tutkimusjaksoa toteutetulla perehdytyskäynnillä polvikulmaksi

määritettiin goniometrin avulla 107° , jonka jälkeen käytettiin aina samaa penkin säätöä. Polvikulman määrittämisessä käytetyt anatomiset pisteet olivat pohjeluun ulkokehränen, polven nivelrako sekä reisiluun isosarvennoinen. Jalkojen sijainti voimalevyllä vakioitiin merkkiteippien avulla ja tutkittavaa ohjeistettiin tekemään testit aina samoilla kengillä. Tutkittavaa ohjeistettiin pitämään selkä ja pakarat tukevasti kiinni penkissä sekä pitämään kahvoista kiinni koko mittauksen ajan. Lisäksi häntä ohjeistettiin tuottamaan voimaa tasaisesti voimalevyä vasten kuitenkin niin, että maksimivoima tuotetaan mahdollisimman nopeasti. Maksimivoimantuottoa jatkettiin, kunnes voimataso ei enää noussut tai se lähti laskemaan, jonka jälkeen tutkittavalle annettiin lupa lopettaa.

Tutkittava teki ensin kolme lämmittelysuoritusta intensiteeteillä, jotka olivat subjektiivisesti arvioituna 50, 75 ja 90 %:a maksimivoimasta. Palautus lämmittelysuoritusten välissä oli yksi minuutti. Sen jälkeen tehtiin kolme maksimaalista suoritusta, joiden välissä palautus oli kaksi minuuttia. Jos viimeinen suoritus oli n. 5 %:a edellisiä parempi, tehtiin vielä neljäs suoritus. Tutkittavaa kannustettiin suoritusten aikana. Parhaasta suorituksesta analysoitiin maksimivoima newtoneina (N).

Maksimaalinen hapenottokyvyn testi tehtiin välittömästi isometrisen maksimivoimatestin jälkeen. Ennen testiä tutkittava punnittiin Seca 719 vaa'alla (Seca GmbH, Hampuri, Saksa) 0,1 kg:n tarkkuudella. Pituus mitattiin ensimmäisten mittausten yhteydessä seinällä olevalla pituusmitalla. Testiprotokollana käytettiin ns. nopeusmallia, jossa tutkittava teki kolmen minuutin kuormia juoksumatolla (OJK-1, Telinyhtymä, Kotka, Suomi) portaittain nousevalla intensiteetillä. Testi alkoi nopeudella 6 km/h maton kulman ollessa koko testin ajan $0,6^\circ$. Nopeutta lisättiin 1 km/h jokaisella kuormalla. Tutkittava sai ensimmäisellä kerralla päättää, käveleekö vai juokseeko hän ensimmäiset kaksi kuormaa ja seuraavissa testeissä ensimmäiset kuormat toistettiin samoin. Testiä jatkettiin uupumukseen saakka tai niin pitkään, että tutkittava halusi lopettaa testin.

Hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa sekä ventilaatiota mitattiin hengityskaasuanalysaattorilla (Vyntus CPX, Vyaire Medical GmbH, Hoechberg, Saksa) breath-by-breath toiminnolla. Ennen testiä hengityskaasuja mitattiin yhden minuutin ajan levossa tutkittavan seisoessa matolla. Välittömästi lepokeräyksen jälkeen aloitettiin testi, jonka aikana sekä noin 30 sekuntia testin päätyttyä mitattiin hengityskaasuja $VO_2\max$:n selvittämiseksi. $VO_2\max$ määritettiin pyöristämällä

testin kahden korkeimman peräkkäisen 30 sekunnin hapenkulutuksen arvon keskiarvo alaspäin lähimpään tasalukuun.

Laktaatti määritettiin sormenpääverinäytteestä, joka oli otettu kapillaariin ennen testiä, jokaisen kuorman jälkeen, välittömästi testin päätyttyä sekä yksi ja kolme minuuttia testin päättymisen jälkeen. Kuormien välissä matto pysäytettiin laktaattinäytteen ottamisen ajaksi. Jos näytteen ottamiseen kului yli 45 sekuntia, lisättiin seuraavaan kuormaan 1 minuutti. Testin jälkeen näytteistä analysoitiin veren laktaattipitoisuus (mmol/l) laktaattianalyysatorilla (Biosen C-Line Clinic, EKF Diagnostics, Madgeburg, Saksa). Syke kirjattiin ylös jokaisen kuorman viimeisen 15 sekunnin keskiarvona. Lisäksi testin aikainen maksimisyke kirjattiin pöytäkirjaan. Tutkittavat käyttivät testissä samaa sykevyötä (HRM dual, Garmin, Olathe, Kansas, Yhdysvallat) ja kelloa (Venu 2S, Garmin, Olathe, Kansas, Yhdysvallat) kuin harjoituksissaan. Tutkittavalta kysyttiin rasittuneisuustuntemus (rate of perceived exertion, RPE) noin puoli minuuttia ennen jokaisen kuorman päättymistä käyttäen Borgin 6–20 RPE-asteikkoa.

7.3.3 Energian saatavuus

Energian saatavuus määritettiin jokaisten mittausten jälkeisten kolmen päivän keskiarvona yhtälöstä: $EA = (EI - EEE) / FFM$, jossa EA on energian saatavuus, EI energiansaanti, EEE harjoittelun aiheuttama energiankulutus ja FFM kehon rasvaton massa. EI määritettiin ruokapäiväkirjan avulla, EEE harjoituspäiväkirjan avulla ja FFM mitattiin BIA-laitteella. Lisäksi analyysijä varten laskettiin keskiarvo kaikkien mittausten EA:sta ja EI:sta.

Energiansaannin määrittäminen ruokapäiväkirjasta. Tutkittavat täyttivät ruokapäiväkirjaa kolme vuorokautta jokaisten mittausten jälkeen alkaen suorituskykymittauksia seuraavasta päivästä. Ruokapäiväkirjaan kirjattiin mahdollisimman tarkasti kaikki nautitut ruoat ja juomat ja niiden määrät käyttämällä tuotteiden painoa (g), talousmittoja tai annoskokoja (pieni, keskikoinen, suuri annos). Tuotteen kaupp nimi kirjattiin ylös, jos se oli tiedossa. Lisäksi hyödynnettiin valokuvia annoksista, jos annoskoko oli haastavaa arvioida tarkasti. Ruokapäiväkirjan täyttöohjeet ja esimerkkipäivä on kuvattu liitteessä 1. Ruokapäiväkirjat analysoitiin Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen ylläpitämän Fineli-tietokannan ruokapäiväkirjan avulla. Jos tietokannasta ei löytynyt tutkittavan käyttämää elintarviketta, käytettiin analyysissa mahdollisimman

samankaltaista tietokannasta löytyvää tuotetta. Päiväkirjoista analysoitiin kolmen vuorokauden keskimääräinen energiansaanti energian saatavuuden määrittämiseksi.

Harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen määrittäminen. Tutkittavat täyttivät harjoituspäiväkirjaa (liite 2) läpi tutkimuksen. Päiväkirjaan merkittiin harjoituksen tyyppi (esim. juoksu, pyöräily, voimaharjoittelu), kesto, koettu kuormitus asteikolla 1–10 sekä toteutunut matka, jos kyseessä oli harjoitus, jossa matkaa voitiin mitata. EEE:n arvioimiseen hyödynnettiin lepoai-neenvaihdunnan kerrannaisia eli MET-kertoimia (Ainsworth ym. 2011). Aktiviteetin MET-arvo määräytyy sen mukaan, kuinka moninkertaisesti energiankulutus lisääntyy lepotilaan verrattuna. Harjoituksen MET-arvo määritettiin harjoituspäiväkirjasta valitsemalla ProCon (2022) taulukosta parhaiten aktiviteettia kuvaava MET-arvo. Lepoenergiankulutuksen osuuden vähentämiseksi harjoittelun aikaisesta energiankulutuksesta REE arvioitiin Cunninghamin (1980) kaavaa käyttäen: $(22 * FFM + 500) \text{ kcal/vrk}$, jossa FFM on bioimpedanssilla määritetty kehon rasvaton paino (kg). EEE määritettiin kaavasta: $t * MET * \left(\frac{REE}{24}\right) * t$, jossa t on harjoituksen kesto (h), MET on harjoituspäiväkirjasta määritetty harjoituksen MET-arvo ja REE on Cunninghamin (1980) kaavalla määritetty lepoenergiankulutus.

7.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen tarkastelu tehtiin IBM SPSS 28.0 (IBM Corporation, Armonk, New York, Yhdysvallat) sekä Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Yhdysvallat) -ohjelmistoilla. Tulokset on esitetty keskiarvoina ja -hajontoina. Normaalijakautuneisuus tarkistettiin pienille otoksille tarkoitettulla Shapiro-Wilk-testillä. Muuttujista pre-mittauksissa T₃, E₂ ja P₄; mid-mittauksissa leptiini; post-mittauksissa paino, IGF-1, E₂ ja P₄ eivät olleet normaalijakautuneita. Muutoksista maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston muutos pre–post jaksolla, E₂:n muutos pre–mid-jaksolla, P₄:n muutos pre–mid- sekä pre–post-jaksoilla eivät olleen normaalijakautuneita. Jos muuttuja ei ollut normaalijakautunut, käytettiin epäparametrisiä testejä. Muutosten merkitsevyyden tutkimiseen käytettiin toistomittausten varianssianalyysia normaalijakautuneille muuttujille ja Friedmanin testiä ei-normaalijakautuneille muuttujille. Useimpien hormonien osalta muutosta tarkasteltiin ainoastaan pre–mid-jaksolla, joten muutosten merkitsevyyden analysointiin käytettiin riippuvien otosten T-testiä normaalijakautuneille ja Wilcoxo-

nin testiä ei-normaalijakautuneille muuttujille. Normaalijakautuneiden muuttujien välisiä korrelaatioita tutkittiin Pearsonin korrelaatiokertoimella ja ei-normaalijakautuneiden Spearmanin korrelaatiokertoimella. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

8 TULOKSET

Ravitsemusmuuttujat. Tutkittavien EA oli keskimäärin $37,0 \pm 3,3$ kcal/kg FFM/vrk ja EI 1923 ± 280 kcal/vrk. Jokaisen tutkittavan kolmen mittauksen keskimääräinen EA (EA_{ka}) oli EA:n raja-arvojen mukaisesti vähentynyt eli 30–45 kcal/kg FFM/vrk.

Muutokset. Suorituskyky-, kehonkoostumus- ja energiastatusmuuttujien muutosten merkittävyyttä tarkasteltiin niiden tutkittavien osalta, joilta oli saatavissa tarkasteltavan muuttujan osalta kaikkien kolmen mittapisteen tulos. Hormonien, pois lukien leptiini, osalta muutoksia tarkasteltiin ainoastaan pre–mid-jaksolta vähäisen otoskoon vuoksi. Suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien osalta mikään muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Myöskään hormonien osalta ei havaittu muutoksia. Muutokset on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Suorituskyky-, kehonkoostumus-, energiastatus- ja hormonimuuttujien muutokset tutkimusjakson aikana.

	N	Pre-mittaus	Mid-mittaus	Post-mittaus
Testin kesto (min)	10	$22,55 \pm 4,43$	$22,90 \pm 4,11$	$23,00 \pm 4,08$
VO ₂ max (l/min)	10	$2,70 \pm 0,22$	$2,68 \pm 0,25$	$2,69 \pm 0,27$
VO ₂ max (ml/kg/min)	10	$40,4 \pm 4,8$	$40,3 \pm 5,8$	$40,6 \pm 5,5$
Voima (N)	8	$2411,9 \pm 777,7$	$2440,3 \pm 937,9$	$2339,0 \pm 816,1$
Paino (kg)	11	$66,1 \pm 9,7$	$65,4 \pm 9,7$	$65,1 \pm 10,4$
FFM (kg)	11	$18,8 \pm 6,6$	$18,8 \pm 6,6$	$18,4 \pm 6,7$
FM (kg)	11	$47,3 \pm 3,9$	$46,6 \pm 3,8$	$46,8 \pm 4,0$
EI (kcal/vrk)	8	2015 ± 439	1897 ± 337	1868 ± 179
EA (kcal/kg FFM/vrk)	8	$38,3 \pm 8,0$	$33,8 \pm 4,9$	$36,9 \pm 3,4$
T ₃ (pmol/l)	6	$4,87 \pm 0,94$	$4,61 \pm 0,59$	-
IGF-1 (nmol/l)	6	$19,72 \pm 4,56$	$19,33 \pm 2,81$	-
COR (nmol/l)	6	$556,83 \pm 176,24$	$565,00 \pm 105,85$	-
E ₂ (pmol/l)	6	$169,13 \pm 276,92$	$92,30 \pm 38,60$	-
P ₄ (nmol/l)	6	$5,98 \pm 10,87$	$1,69 \pm 0,78$	-
LEPT (ng/ml)	10	$16,66 \pm 9,05$	$13,27 \pm 9,45$	$13,11 \pm 9,24$

COR, kortisoli; E₂, estradioli; EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; FFM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasvamassa; IGF-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1; LEPT, leptiini; P₄, progesteroni; T₃, trijodityroniini; VO₂max, maksimaalinen hapenottokyky

EA:n ja EI:n korrelaatiot suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujiin eri mittauksissa. Tutkimuksessa tarkasteltiin EA:n ja EI:n korrelaatioita suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujiin pre-, mid- ja post-mittauksissa poikkileikkausasetelmassa. EA:lla ei poik-

kileikkausasetelmassa ollut korrelaatiota mihinkään suorituskyky- tai kehonkoostumusmuuttu-
jaan missään mittapisteessä. EI:lla oli positiivinen korrelaatio FFM:aan mid-mittauksessa,
mutta ei muissa mittapisteissä. Hormonien osalta EA:lla havaittiin positiivinen korrelaatio lep-
tiin kanssa mid-mittauksessa (kuva 5a) sekä T₃:n kanssa post-mittauksessa (kuva 5b) EA:n ja
EI:n korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujiin eri mittapisteissä on esitetty tau-
lukossa 4 ja hormonimuuttujiin taulukossa 5.

TAULUKKO 4. EA:n ja EI:n korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujiin pre-,
mid- ja post-mittauksissa.

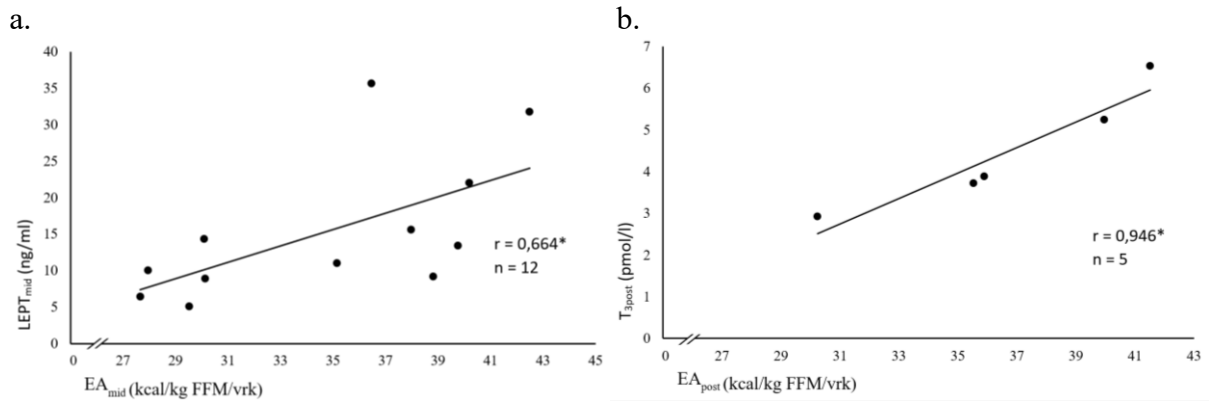
		Testin kesto- pre	VO ₂ max _{pre} (l/min)	VO ₂ max _{pre} (ml/kg/min)	Voima _{pre}	Paino _{pre}	FM _{pre}	FFM _{pre}
EA _{pre}	r	-0,431 (n = 12)	-0,163 (n = 12)	-0,393 (n = 12)	-0,004 (n = 12)	0,282 (n = 12)	0,284 (n = 12)	0,230 (n = 12)
EI _{pre}	r	-0,339 (n = 12)	0,011 (n = 12)	-0,460 (n = 12)	0,294 (n = 12)	0,469 (n = 12)	0,417 (n = 12)	0,493 (n = 12)
		Testin kes- to _{mid}	VO ₂ max _{mid} (l/min)	VO ₂ max _{mid} (ml/kg/min)	Voima _{mid}	Paino _{mid}	FM _{mid}	FFM _{mid}
EA _{mid}	r	-0,305 (n = 11)	-0,029 (n = 11)	-0,455 (n = 11)	0,335 (n = 10)	0,534 (n = 12)	0,445 (n = 12)	0,569 (n = 12)
EI _{mid}	r	0,014 (n = 11)	0,252 (n = 11)	-0,040 (n = 11)	0,131 (n = 10)	0,424 (n = 12)	0,195 (n = 12)	0,708* (n = 12)
		Testin kes- to _{post}	VO ₂ max _{post} (l/min)	VO ₂ max _{post} (ml/kg/min)	Voima _{post}	Paino _{post}	FM _{post}	FFM _{post}
EA _{post}	r	-0,136 (n = 9)	-0,322 (n = 9)	-0,013 (n = 9)	0,183 (n = 6)	-0,333 (n = 9)	-0,178 (n = 9)	-0,308 (n = 9)
EI _{post}	r	-0,134 (n = 9)	0,563 (n = 9)	-0,232 (n = 9)	0,576 (n = 6)	0,564 (n = 9)	0,470 (n = 9)	0,582 (n = 9)

EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; FFM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasva-
massa; r, korrelaation tunnusluku; VO₂max, maksimaalinen hapenottokyky; *, p < 0,05.

TAULUKKO 5. EA:n ja EI:n korrelaatiot hormonimuuttujiin pre-, mid- ja post-mittauksissa.

		T _{3pre}	IGF _{pre}	COR _{pre}	E _{2pre}	P _{4pre}	LEPT _{pre}
EA _{pre}	r	0,200 (n = 11)	0,271 (n = 11)	0,070 (n = 11)	0,236 (n = 11)	0,582 (n = 11)	0,275 (n = 12)
EI _{pre}	r	0,482 (n = 11)	0,328 (n = 11)	0,092 (n = 11)	0,036 (n = 11)	0,509 (n = 11)	0,498 (n = 12)
		T _{3mid}	IGF _{mid}	COR _{mid}	E _{2mid}	P _{4mid}	LEPT _{mid}
EA _{mid}	r	0,487 (n = 6)	-0,321 (n = 6)	0,751 (n = 6)	-0,525 (n = 6)	-0,114 (n = 6)	0,664* (n = 12)
EI _{mid}	r	0,294 (n = 6)	-0,460 (n = 6)	0,648 (n = 6)	-0,704 (n = 6)	-0,314 (n = 6)	0,378 (n = 12)
		T _{3post}	IGF _{post}	COR _{post}	E _{2post}	P _{4post}	LEPT _{post}
EA _{post}	r	0,946* (n = 5)	0,205 (n = 5)	0,411 (n = 5)	-0,800 (n = 5)	-0,100 (n = 5)	-0,199 (n = 8)
EI _{post}	r	0,164 (n = 5)	0,872 (n = 5)	0,822 (n = 5)	-0,500 (n = 5)	0,200 (n = 5)	0,395 (n = 8)

COR, kortisoli; E₂, estradioli; EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; IGF-1, insuliinin kal-
tainen kasvutekijä 1; LEPT, leptiini; P₄, progesteroni; r, korrelaation tunnusluku; T₃, trijodi-
tyroniini; *, p < 0,05.



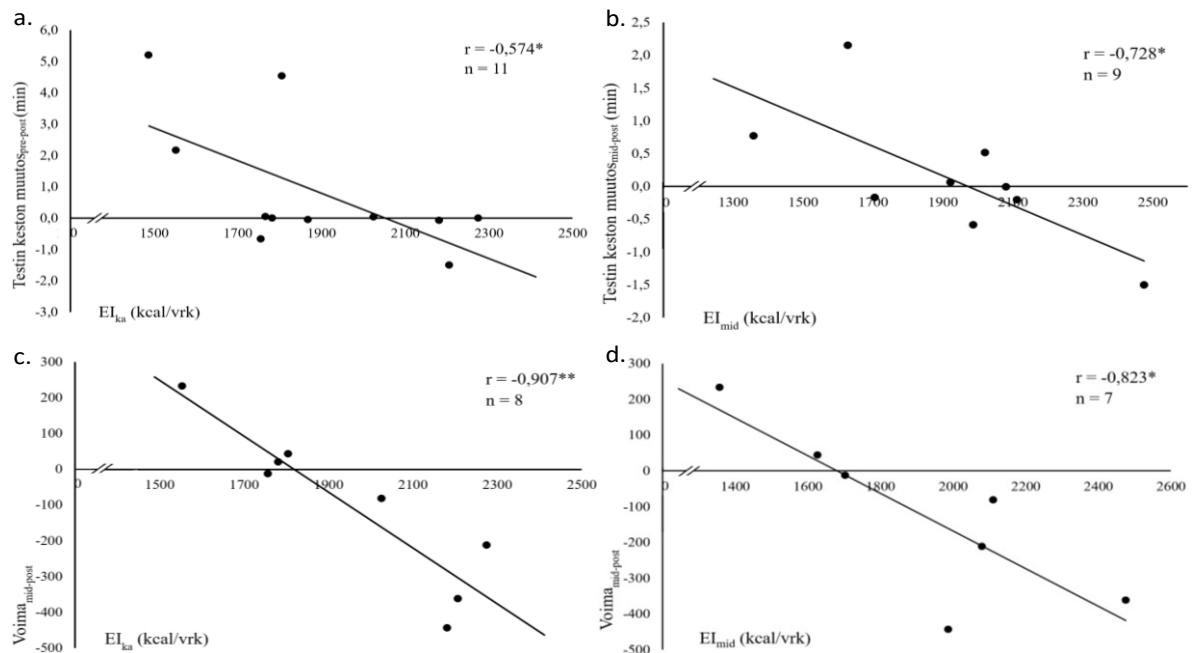
KUVA 5. EA:n ja leptiinin korrelaatio mid-mittauksessa (a.) sekä EA:n ja T₃:n korrelaatio post-mittauksessa (b.). EA, energian saatavuus; LEPT, leptiini; r, korrelaation tunnusluku; T₃, trijodityroniini; *, $p < 0,05$.

EA:n ja EI:n korrelaatiot suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujien muutoksiin. EA:n ja EI:n korrelaatioita suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujien muutoksiin tarkasteltiin käyttämällä EA:n ja EI:n kaikkien mittausten keskiarvoa (EA_{ka} ja EI_{ka}) sekä tutkitavan ajanjakson alussa mitattua arvoa, eli pre–mid ja pre–post -jaksoilla pre-arvoja (EA_{pre} ja EI_{pre}) ja mid–post -jaksolla mid-arvoja (EA_{mid} ja EI_{mid}). EA:lla ei havaittu korrelaatiota minkään suorituskyky-, kehonkoostumus- tai hormonimuuttujan muutokseen millään ajanjaksolla. Sen sijaan EI_{ka}:lla havaittiin negatiivinen korrelaatio maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston kanssa mid–post ja pre–post (kuva 6a) -jaksoilla sekä EI_{mid}:lla mid–post-jaksolla (kuva 6b). Lisäksi EI_{ka}:lla (kuva 6c) ja EI_{mid}:lla (kuva 6d) havaittiin negatiivinen korrelaatio isometrisen maksimivoiman muutoksen kanssa mid–post-jaksolla. EI_{ka} korreloi lisäksi positiivisesti painon muutokseen pre–mid- sekä pre–post-jaksoilla (kuva 7a) ja rasvamassan muutokseen pre–post-jaksolla. Hormonien, pois lukien leptiini, osalta ei tarkasteltu mid–post-jakson muutoksia, koska ainoastaan kahdella tutkittavalla oli molemmat mittapisteet. EI_{ka}:lla havaittiin negatiivinen korrelaatio kortisolin (kuva 7b) ja positiivinen korrelaatio E₂:n muutoksiin pre–mid-jaksolla. EA:n ja EI:n korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien muutoksiin on kuvattu taulukossa 6 ja hormonimuuttujien muutoksiin taulukossa 7.

TAULUKKO 6. EA:n ja EI:n korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien muutoksiin pre–mid-, mid–post- sekä pre–post-jaksoilla.

			Δ Testin kesto	Δ VO ₂ max (l/min)	Δ VO ₂ max (ml/kg/min)	Δ Voima	Δ Paino	Δ FM	Δ FFM
EA _{ka}	pre–mid	r	0,137 (n = 12)	0,454 (n = 12)	0,376 (n = 12)	0,281 (n = 11)	0,374 (n = 13)	0,248 (n = 13)	0,176 (n = 13)
	mid–post	r	-0,001 (n = 10)	0,241 (n = 10)	0,104 (n = 10)	-0,460 (n = 8)	0,250 (n = 11)	0,171 (n = 11)	0,141 (n = 11)
	pre–post	r	0,005 (n = 11)	0,221 (n = 11)	0,220 (n = 11)	-0,115 (n = 8)	0,321 (n = 11)	0,246 (n = 11)	0,248 (n = 11)
EA _{pre}	pre–mid	r	0,279 (n = 12)	0,121 (n = 12)	0,098 (n = 12)	0,548 (n = 11)	0,089 (n = 12)	-0,117 (n = 12)	0,319 (n = 12)
	pre–post	r	-0,079 (n = 10)	0,162 (n = 10)	0,105 (n = 10)	-0,656 (n = 8)	0,108 (n = 10)	-0,081 (n = 10)	0,416 (n = 10)
EA _{mid}	mid–post	r	-0,197 (n = 9)	-0,085 (n = 9)	-0,235 (n = 9)	-0,479 (n = 0,277)	0,140 (n = 10)	0,005 (n = 10)	0,151 (n = 10)
EI _{ka}	pre–mid	r	0,-0,54 (n = 12)	0,417 (n = 12)	0,236 (n = 12)	0,292 (n = 11)	0,618* (n = 13)	0,361 (n = 13)	0,441 (n = 13)
	mid–post	r	-0,589* (n = 10)	0,205 (n = 10)	-0,125 (n = 10)	-0,907** (n = 8)	0,166 (n = 11)	0,491 (n = 11)	-0,133 (n = 11)
	pre–post	r	-0,547* (n = 11)	0,028 (n = 11)	-0,230 (n = 11)	-0,391 (n = 8)	0,563* (n = 11)	0,532* (n = 11)	0,275 (n = 11)
EI _{pre}	pre–mid	r	0,112 (n = 12)	0,192 (n = 12)	0,053 (n = 12)	0,569 (n = 11)	0,282 (n = 12)	0,058 (n = 12)	0,359 (n = 12)
	pre–post	r	-0,255 (n = 10)	0,165 (n = 10)	-0,085 (n = 10)	-0,149 (n = 8)	0,360 (n = 10)	0,137 (n = 10)	0,644* (n = 10)
EI _{mid}	mid–post	r	-0,728* (n = 9)	-0,223 (n = 9)	-0,564 (n = 9)	-0,823* (n = 7)	-0,161 (n = 10)	0,506 (n = 10)	-0,507 (n = 10)

EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; FFM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasvassa; ka, kaikkien mittapisteiden keskiarvo; r, korrelaation tunnusluku; VO₂max, maksimaalinen hapenotto- ja voimantuotto; *, p < 0,05; **, p < 0,01.



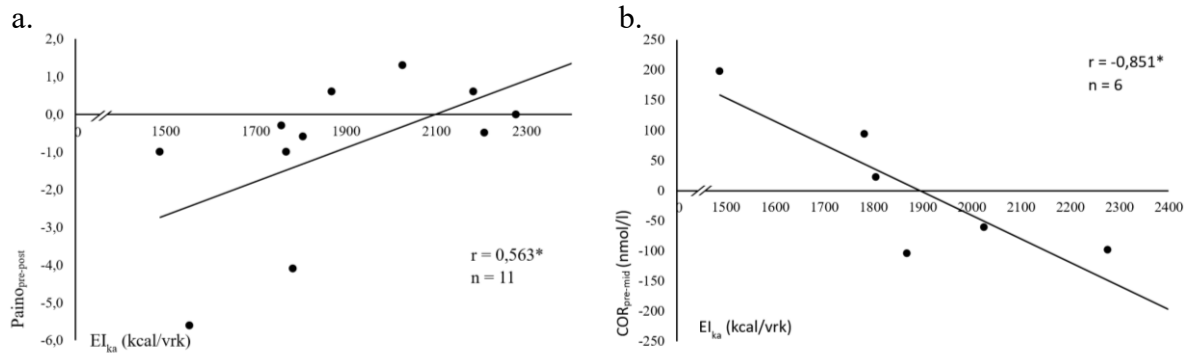
KUVA 6. Keskimääräisen energiansaannin (EI_{ka}) korrelaatio maksimaalisen hapenotto- ja voimantuotto- testin keston muutokseen pre–post-jaksolla (a.), mid-jakson energiansaannin (EI_{mid}) korrelaatio

maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston muutokseen mid–post-jaksolla (b.), EI_{ka}:n korrelaatio isometrisen maksimivoiman muutokseen mid–post-jaksolla (c.) sekä EI_{mid}:n korrelaatio isometrisen maksimivoiman muutokseen mid–post-jaksolla (d.). R, korrelaation tunnusluku; *, p < 0,05; **, p < 0,01.

TAULUKKO 7. EA:n ja EI:n korrelaatiot hormonimuuttujien muutoksiin pre–mid-, mid–post- sekä pre–post-jaksoilla. Mid–post-jakson osalta tulokset ovat saatavilla ainoastaan lehtiin osalta.

			ΔT_3	$\Delta IGF-1$	ΔCOR	ΔE_2	ΔP_4	$\Delta LEPT$
EA _{ka}	pre-mid	r	-0,387 (n = 6)	-0,564 (n = 6)	-0,410 (n = 6)	0,086 (n = 6)	-0,029 (n = 6)	0,246 (n = 13)
	mid-post	r	-	-	-	-	-	0,424 (n = 10)
	pre-post	r	-0,392 (n = 5)	-0,787 (n = 5)	-0,707 (n = 5)	0,074 (n = 5)	-0,100 (n = 5)	0,071 (n = 10)
EA _{pre}	pre-mid	r	-0,460 (n = 5)	-0,556 (n = 5)	0,019 (n = 5)	-0,300 (n = 5)	-0,800 (n = 5)	-0,114 (n = 12)
	pre-post	r	-0,558 (n = 4)	-0,596 (n = 4)	-0,773 (n = 4)	-0,135 (n = 4)	-0,600 (n = 4)	-0,122 (n = 9)
EA _{mid}	mid-post	r	-	-	-	-	-	0,322 (n = 10)
EI _{ka}	pre-mid	r	-0,539 (n = 6)	-0,637 (n = 6)	-0,851* (n = 6)	0,829* (n = 6)	0,429 (n = 6)	0,514 (n = 13)
	mid-post	r	-	-	-	-	--	0,106 (n = 10)
	pre-post	r	-0,878 (n = 5)	-0,558 (n = 5)	-0,724 (n = 5)	0,645 (n = 5)	0,500 (n = 5)	0,510 (n = 10)
EI _{pre}	pre-mid	r	-0,539 (n = 5)	0,343 (n = 5)	-0,873 (n = 5)	0,000 (n = 5)	-0,300 (n = 5)	0,061 (n = 12)
	pre-post	r	-0,763 (n = 4)	-0,354 (n = 4)	-0,900 (n = 4)	0,027 (n = 4)	-0,600 (n = 4)	0,000 (n = 9)
EI _{mid}	mid-post	r	-	-	-	-	-	0,048 (n = 10)

COR, kortisoli; E₂, estradioli; EA_{ka}, energian saatavuuden keskiarvo kaikkien mittapisteiden ruokapäiväkirjoista; EA_{pre}, pre-mittauksen energian saatavuus; EA_{mid}, mid-mittauksen energian saatavuus; EI_{ka}, energiansaannin keskiarvo kaikkien mittapisteiden ruokapäiväkirjoista; EI_{pre}, pre-mittauksen energiansaanti; EI_{mid}, mid-mittauksen energiansaanti; IGF-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1; LEPT, lehtiini; P₄, progesteroni; r, korrelaation tunnusluku; T₃, trijodityroniini; *, p < 0,05.



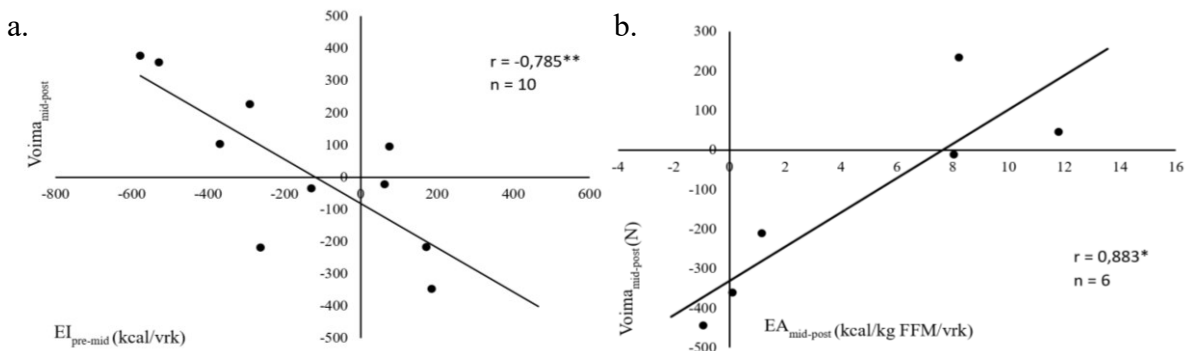
KUVA 7. EI_{ka}:n korrelaatio painon muutokseen pre–post- (a.) sekä kortisolin muutokseen pre–mid-jaksoilla (b.). COR, kortisoli; EI_{ka}, keskimääräinen energiansaanti; pre–mid, pre- ja mid-mittausten välinen muutos; pre–post, pre- ja post-mittausten välinen muutos; r, korrelaation tunnusluku; *, p < 0,05.

EA:n ja EI:n muutosten korrelaatiot suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujien muutoksiin. Lisäksi tarkasteltiin EA:n ja EI:n muutosten korrelaatiota suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien muutoksiin pre–mid-, mid–post- sekä pre–post-jaksoilla. Hormonimuuttujien osalta korrelaatioita ei tarkasteltu mid–post-jaksolla pienen otoskoon vuoksi. EA:n muutoksella havaittiin positiivinen korrelaatio sekä voiman muutokseen (kuva 9b) mid–post-jaksolla että FM:n muutokseen pre–mid-jaksolla (kuva 10a). Lisäksi EI:n muutoksella havaittiin negatiivinen korrelaatio voiman muutokseen pre–mid-jaksolla (kuva 9a) ja positiivinen korrelaatio FFM:n muutokseen mid–post-jaksolla (10 b). EA:n ja EI:n muutoksilla ei havaittu korrelaatioita hormonimuuttujien muutoksiin kummallakaan ajanjaksolla. EA:n ja EI:n muutosten korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien muutoksiin on esitetty taulukossa 8 ja hormonimuuttujien muutoksiin taulukossa 9.

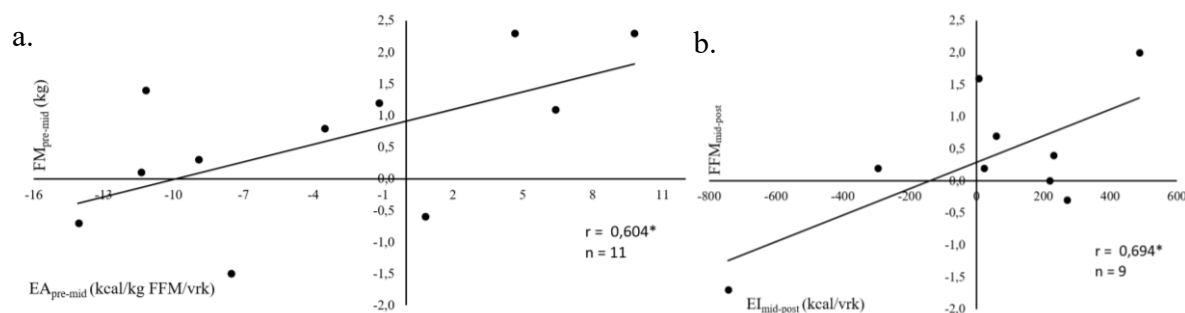
TAULUKKO 8. EA:n ja EI:n muutosten korrelaatiot suorituskyky- ja kehonkoostumusmuuttujien muutoksiin pre–mid-, mid–post- sekä pre–post-jaksoilla.

Δpre–mid		ΔTestin kesto	ΔVO ₂ max (l/min)	ΔVO ₂ max (ml/kg/min)	ΔVoima	ΔPaino	ΔFM	ΔFFM
ΔEA	r	-0,454 (n = 11)	0,205 (n = 11)	0,194 (n = 11)	-0,530 (n = 10)	0,301 (n = 11)	0,604* (n = 11)	-0,252 (n = 11)
ΔEI	r	-0,468 (n = 11)	0,160 (n = 11)	0,244 (n = 11)	-0,785** (n = 10)	0,461 (n = 11)	0,385 (n = 11)	0,246 (n = 11)
Δmid–post		ΔTestin kesto	ΔVO ₂ max (l/min)	ΔVO ₂ max (ml/kg/min)	ΔVoima	ΔPaino	ΔFM	ΔFFM
ΔEA	r	0,640 (n = 8)	0,340 (n = 8)	0,598 (n = 8)	0,883* (n = 6)	0,138 (n = 9)	-0,118 (n = 9)	0,228 (n = 9)
ΔEI	r	0,674 (n = 8)	0,249 (n = 8)	0,674 (n = 8)	0,646 (n = 6)	0,472 (n = 9)	-0,274 (n = 9)	0,694* (n = 9)
Δpre–post		ΔTestin kesto	ΔVO ₂ max (l/min)	ΔVO ₂ max (ml/kg/min)	ΔVoima	ΔPaino	ΔFM	ΔFFM
ΔEA	r	0,190 (n = 8)	0,192 (n = 8)	0,305 (n = 8)	0,392 (n = 6)	-0,058 (n = 8)	0,212 (n = 8)	-0,391 (n = 8)
ΔEI	r	0,119 (n = 8)	0,088 (n = 8)	0,183 (n = 8)	0,465 (n = 6)	-0,119 (n = 8)	0,153 (n = 8)	-440 (n = 8)

FFM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasvamassa, EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; Δmid–post, muutos mid- ja post-mittausten välillä; Δpre–mid, muutos pre- ja mid-mittausten välissä; Δpre–post, muutos pre- ja post-mittausten välillä; r, korrelaation tunnusluku; VO₂max, maksimaalinen hapenottokyky; *, p < 0,05; **, p < 0,01.



KUVA 9. EI:n muutoksen korrelaatio isometrisen maksimivoiman muutoksen pre–mid-jaksolla (a.) sekä EA:n muutoksen korrelaatio isometrisen maksimivoiman muutoksen mid–post-jaksolla (b.). EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; mid–post, mid- ja post-mittausten välinen muutos; pre–mid, pre- ja mid-mittausten välinen muutos; r, korrelaation tunnusluku. *, p < 0,05; **, p < 0,01.



KUVA 10. EA:n muutoksen korrelaatio FM:n muutokseen pre–mid-jaksolla (a.) sekä EI:n muutoksen korrelaatio FFM:n muutokseen mid–post-jaksolla (b.). EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; FFM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasvamassa; mid–post, mid- ja post-mittausten välinen muutos; pre–mid, pre- ja mid-mittausten välinen muutos; r, korrelaation tunnusluku. *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$.

TAULUKKO 9. EA:n ja EI:n muutosten korrelaatiot hormonimuuttujien muutoksiin pre–mid- sekä pre–post-jaksoilla.

Δ pre–mid		ΔT_3	ΔIGF	ΔCOR	ΔE_2	ΔP_4	$\Delta LEPT$
ΔEA	r	0,134 (n = 4)	0,631 (n = 4)	-0,483 (n = 4)	0,400 (n = 4)	0,800 (n = 4)	0,344 (n = 11)
ΔEI	r	0,132 (n = 4)	0,795 (n = 4)	-0,159 (n = 4)	0,400 (n = 4)	0,800 (n = 4)	0,390 (n = 11)
Δ pre–post		ΔT_3	ΔIGF	ΔCOR	ΔE_2	ΔP_4	$\Delta LEPT$
ΔEA	r	0,937 (n = 4)	-0,123 (n = 4)	0,738 (n = 4)	-0,507 (n = 4)	-0,400 (n = 4)	0,164 (n = 7)
ΔEI	r	0,852 (n = 4)	0,069 (n = 4)	0,704 (n = 4)	-0,507 (n = 4)	-0,200 (n = 4)	0,090 (n = 7)

COR, kortisoli; E_2 , estradioli; EA, energian saatavuus; EI, energiansaanti; IGF-1, insuliinin kaltaisen kasvutekijä 1; LEPT, leptiini; P_4 , progesteroni; Δ pre–mid, muutos pre- ja mid-mittausten välissä; Δ pre–post, muutos pre- ja post-mittausten välillä; r, korrelaation tunnusluku; T_3 , trijodityroniini.

9 POHDINTA

Kaikkien tutkittavien EA luokiteltiin vähentyneeksi, eikä EA vaihdellut juurikaan eri tutkittavien välillä. Myöskään tutkittavien suorituskykymuuttujissa, kehonkoostumuksessa tai hormonoiminnassa ei keskimäärin tapahtunut muutoksia harjoitusjakson aikana. Vastoin hypoteeseja EA ei korreloinut minkään suorituskyky- tai kehonkoostumusmuuttujan kanssa missään mittapisteessä, eikä muuttujien muutoksia tarkasteltaessa. Hormonienkin osalta havaittiin ainoastaan yksittäisiä hypoteesien mukaisia tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita poikkileikkausasetelmissa. Kuitenkin EA:n lisääntyminen korreloi hypoteesien mukaisesti isometrisen maksimivoiman ja rasvamassan lisääntymisen kanssa yksittäisillä jaksoilla, mutta näitäkään yhteyksiä ei havaittu systemaattisesti useammilla ajanjaksoilla. Energiansaanti korreloi yksittäisillä jaksoilla painon, rasvamassan ja rasvattomaan massan sekä kortisolien alenemisen ja estradiolin lisääntymisen kanssa. Sen sijaan hypoteesien vastaisesti havaittiin, että energiensaannin ollessa suurempaa maksimaalisen hapenottokyvyn testin kesto lyheni ja isometrinen maksimivoima heikentyi. Lisäksi energiensaannin lisääntyessä maksimivoima heikentyi.

9.1 Harjoitusjakson aikaiset muutokset

Energian saatavuus ja energiensaanti. Tutkittavien keskimääräinen EA kaikista mittauksista oli $37,0 \pm 3,3$ kcal/ kg FFM/vrk ja EI 1923 ± 280 kcal/vrk. Yhdenkään tutkittavan keskimääräinen EA ei ollut kliinisen LEA:n rajan eli 30 kcal/kg FFM/vrk alapuolella, mutta viidellä tutkittavalla se alitti raja-arvon jossakin mittauksessa. Keskimääräinen EA ei ollut yhdelläkään tutkittavalla myöskään optimaalinen 45 kcal/kg FFM/vrk tai yli, ja ainoastaan kahdella tutkittavalla se oli jossakin mittauksessa raja-arvon yläpuolella. Käytännössä siis jokaisella tutkittavalla EA oli tutkimusjakson aikana vähentynyt (30–45 kcal/ kg FFM/vrk). EA tai EI eivät myöskään keskimäärin muuttuneet tilastollisesti merkitsevästi niiden tutkittavien osalta, jotka olivat täyttäneet kaikki kolme ruokapäiväkirjaa. Kuitenkin yksittäisillä tutkittavilla EA ja EI vaihtelivat eri mittapisteiden välillä jopa yli 10 kcal/kg FFM/vrk ja yli 500 kcal/vrk, kun taas osalla EA ja EI pysyivät hyvin samanlaisina kaikissa mittauksissa.

Aiempien tutkimusten valossa ei ole yllättävää, että kaikkien tutkittavien EA oli vähentynyt, sillä säännöllisesti harjoittelevista kuntoilijoista jopa noin puolet on arvioitu olevan riskissä matalalle EA:lle. Kuitenkaan tutkimustietoa varsinaisesta riittämättömän EA:n yleisyydestä

muilla kuin kilpaurheilijoilla ei ole juurikaan saatavilla (Slater ym. 2016). Riittämättömälle EA:lle voi olla useita syitä, kuten tietoinen energiansaannin tai tiettyjen ravintoaineiden rajoittaminen tarkoituksena pudottaa painoa tai välttää painon nousua. Kuitenkin paljon liikkuvilla myös runsas kulutus saattaa johtaa energiansaannin jäämiseen kulutusta vähäisemmäksi ilman, että energiansaantia tietoisesti rajoitettaisiin. Joskus taustalla saattaa olla myös häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä tai varsinainen syömishäiriö. (Wasserwurth ym. 2020) Säännöllisesti harjoittelevilla, mutta ei kilpaurheilun piiriin kuuluvilla, myös tietämättömyys ja väärät uskomukset ravitsemukseen liittyen saattavat aiheuttaa riittämätöntä energiansaantia, sillä heillä ei yleensä ole käytettävissä ammattitaitoisia valmentajia tai ravitsemusasiantuntijoita (Slater ym. 2016).

Aineenvaihduntaa säätelevät hormonit. Hormoneissa ei keskimäärin havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia tutkimuksen aikana. Kuitenkin yksittäisillä tutkittavilla hormonipitoisuuksissa oli vaihtelua mittausten välillä: erityisesti kortisolin pitoisuuksissa oli melko suurta (-105–198 nmol/l) vaihtelua eri mittauksissa. Kuitenkin kortisolin vaihtelu on normaalia, sillä sen erityis vaihtelee voimakkaasti vuorokausirytmien ja esimerkiksi akuutin stressin seurauksena. Aamulla kortisolipitoisuus on korkeimmillaan ja se laskee aamupäivän ja päivän aikana. Myös pitkään jatkunut stressi ja esimerkiksi matala EA aiheuttavat pidemmällä aikavälillä kortisolin kohoamista, mutta erityisesti aamulla mitatun kortisolin pitoisuuden vaihtelu saattaa selittyä täysin sirkadiaanisella rytmillä ja akuutilla stressillä. (Kraemer ym. 2020) Tässä tutkimuksessa sirkadiaaninen kortisolin vaihtelu pyrittiin minimoimaan suorittamalla mittaukset aina mahdollisimman samaan aikaan aamulla.

Kehonkoostumus. Tutkittavien keskimääräinen BMI oli jakson alussa $24,1 \pm 2,7 \text{ kg/m}^2$. Kahdella tutkittavista BMI oli alussa enemmän kuin 25 kg/m^2 ($26,3$ ja $30,8 \text{ kg/m}^2$), muut tutkittavat olivat BMI:n perusteella normaalipainoisia eli BMI oli $18,5$ – $25,0 \text{ kg/m}^2$ välillä (Mustajoki 2020). Kehonkoostumusmuuttujissa eli painossa, FM:ssa tai FFM:ssa ei tapahtunut jakson aikana keskimäärin muutoksia. Ainoastaan kahdella tutkittavalla paino aleni yli 4 kg pre- ja postmittausten välillä. Suurimmalla osalla kehonkoostumusmuuttujat kuitenkin pysyivät melko vakaina kaikissa mittauksissa, ja paino vaihteli tutkimusjakson aikana korkeintaan $n. \pm 1$ – $1,5 \text{ kg}$.

Kiinnostava havainto oli, että vaikka kaikkien tutkittavien EA luokiteltiin vähentyneeksi, tutkittavien paino aleni tutkimusjakson aikana ainoastaan kahdella tutkittavalla selkeästi, kun taas

muilla sen muutokset olivat hyvin vähäisiä. Painon pysyminen kohtalaisen vakaana lähes kaikilla tutkittavilla kertonee siitä, että tutkittavat ovat olleet kutakuinkin energiatasapainoisessa tilassa tutkimuksen ajan (Loucks ym. 2011), mikä on hieman yllättävää ottaen huomioon, että kaikki tutkittavat olivat EA:n perusteella kohtalaisessa energiavajeessa. Saattaa olla, ettei kaikkien tutkittavien EA todellisuudessa ollut riittämätöntä, sillä ruokapäiväkirjojen avulla saadaan ainoastaan suuntaa antavaa tietoa keskimääräisestä ravitsemuksesta (Heikura ym. 2018) ja usein päiväkirjojen perusteella määritettyä energiansaantia aliarvioidaan (Magkos & Yannakoulia 2003). Kuitenkin on myös mahdollista, että tutkittavien EA on todella ollut tutkimusjakson aikana vähentynyt, jolloin näennäisen energiatasapainon mahdollistava adaptiivinen termogeneesi selittäisi painon pysymisen vakaana (Melin ym. 2019). Saman kaltaisia havaintoja tehtiin Koehlerin ym. (2016) energiavajeen ja kehonkoostumuksen yhteyksiä tarkastelleessa tutkimuksessa: keskimäärin paino aleni kolmen kuukauden intervention aikana selvästi alle puolet laskennallista vähemmän, vaikka energiavaje oli kohtuullinen ja keskimääräinen EA noin 38 kcal/kg FFM/vrk. Adaptoituminen energiavajeeseen oli hyvin yksilöllistä, eikä osalla tapahtunut mitään muutoksia painossa energiavajeesta huolimatta. Myös Koehlerin ja kumppaneiden tutkimuksessa ainoastaan yksittäisillä tutkittavilla paino aleni jakson aikana selvästi (4–6 kg). (Koehler ym. 2016)

Suorituskyky. Tutkittavien keskimääräinen $VO_2\max$ oli jakson alussa $39,8 \pm 4,6$ ml/kg/min, eikä se muuttunut jakson aikana tilastollisesti merkitsevästi. Myöskään maksimaalisen hapenotokyvyn testin kesto, absoluuttinen $VO_2\max$ tai isometrinen maksimivoima eivät keskimäärin muuttuneet jakson aikana. Kahdella tutkittavalla maksimaalisen hapenotokyvyn testin kesto pidentyi n. viisi minuuttia ja heillä myös mitattu $VO_2\max$ oli lopussa 3,4 ja 4,0 ml/kg/min alkumittauksia parempi. Muilla tutkittavilla suorituskykymuuttajat pysyivät samankaltaisina läpi jakson. Harjoitusohjelmaan sisältyi kahdeksan viikkoa kohtuukuormitteista harjoittelua ja sen jälkeen kahdeksan viikkoa HIIT-harjoittelua. Erityisesti HIIT-harjoittelun on havaittu kehittävän $VO_2\max$:a saman mittaisissa ja lyhyemmissäkin tutkimuksissa kuin tämän tutkimuksen kahdeksan viikkoinen HIIT-jakso (Bacon ym. 2013).

Esimerkiksi Helgerudin ym. (2007) tutkimuksessa kolmesti viikossa kahdeksan viikon ajan toteutettu HIIT-harjoittelu hyvin samankaltaisella harjoitusprotokollalla kuin tässä tutkimuksessa (4 x 4 min 90–95 %:a HR_{\max}) johti $VO_2\max$:n kehittymiseen keskimäärin 7,2 %:a eli noin 5 ml/kg/min. Kuitenkaan tässä tutkimuksessa tutkittavat eivät keskimäärin kehittyneet jakson aikana, mikä viittaa siihen, ettei harjoitusohjelma ollut riittävän kuormittava. Tutkimukseen oli

alun perin tarkoitus rekrytoida ylipainoisia naisia, jotka eivät harrasta säännöllistä liikuntaa. Harjoitusohjelma oli suunniteltu tällaista populaatiota varten, joten voi olla, että keskimäärin tutkittavien fyysinen kunto oli tutkimuksen alussa liian hyvä, jotta harjoitusohjelmalla olisi saatu merkittäviä parannuksia suorituskyvyn osalta. Myöskään tutkittavien muuta liikuntaa ei kontrolloitu, joten harjoitusjakso ei välttämättä lisännyt kokonaisliikunnan tai korkeaintensiivisen liikunnan määrää, jos muu liikunta jakson aikana vähentyi. Tutkittavia tosin ohjeistettiin säilyttämään arkiaktiivisuus ja omaehtoinen liikunta tutkimusta edeltävällä tasolla, mutta tämän toteutumista ei analysoitu tähän tutkielmaan. Lisäksi on mahdollista, että tutkittavat ovat kehittyneet niissä harjoituksissa, joita he ovat tehneet esimerkiksi keskivauhtien osalta, mutta muutos ei ole ollut riittävän suuri, jotta se olisi näkynyt myös maksimaalisessa hapenotto-kyvyssä tai testin kestossa. Kuitenkin esimerkiksi kynnyksissä ja on saattanut tapahtua muutoksia. (Billat ym. 2003) Harjoitusohjelmaan ei kuulunut voimaharjoittelua, joten isometrisen maksimivoiman kehittyminen jakson aikana ei ollut odotettavissakaan (Coffey & Hawley 2017).

9.2 Energian saatavuuden ja energiansaannin korrelaatiot muihin muuttujiin

Vastoin odotuksia EA:n ei havaittu korreloivan suorituskyky- tai kehonkoostumusmuuttujien kanssa poikkileikkausasetelmassa missään mittapisteessä, eikä yhteyksiä muuttujien muutoksiin havaittu jakson aikana. Hormonien osalta EA:lla oli voimakas korrelaatio T_3 :n kanssa postmittauksessa ja kohtalainen korrelaatio leptiinin kanssa mid-mittauksessa. Lisäksi suuremman energiansaannin havaittiin korreloivan kortisolipitoisuuden alenemisen kanssa pre-mid-jaksolla. Tulokset olivat hypoteesia tukevia, sillä EA:n ollessa riittävää aineenvaihduntaa säätelevien kilpirauhashormonien erityis on normaalia, kuten myös kylläisyydestä viestivän leptiinin erityis. Vastaavasti energiavajeessa leptiinin erityis häiriintyy kehon viestiessä energiantarpeesta samalla, kun kilpirauhashormonien erityistä ja siten aineenvaihduntaa vähennetään ja energiaa vapauttavia prosesseja lisäävän kortisolin erityistä lisätään. (Dipla ym. 2021) Kuitenkaan korrelaatioita ei havaittu säännönmukaisesti kaikissa mittauksissa ja lisäksi T_3 :n osalta otoskoko oli alle puolet koko tutkimuksen otoksesta.

Hypoteesi oli, että EA korreloisi johdonmukaisemmin suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujiin niin poikkileikkausasetelmissa kuin muutoksia tarkasteltaessakin. Riittämättömän EA:n on havaittu heikentävän voimakkaasti jo muutamassa päivässä aineenvaihduntaa kiihdyttävien hormonien erityistä ja lisäävän kataboliaa tehostavan kortisolin erityistä (Loucks

& Thuma 2003). Vastaavasti pitkittäisasetelmassa on havaittu, että energiansaannin nostaminen energiankulutuksen tasolle on lisännyt joidenkin aineenvaihduntaa kiihdyttävien hormonien eritystä ja puolestaan energiavajeessa aineenvaihduntaa kiihdyttävien hormonien erityks on merkittävästi alentunut (Koehler ym. 2016). Yli tuhat urheilijaa sisältäneessä kyselytutkimuksessa matala EA yhdistettiin muun muassa itse raportoituun harjoitusvasteen ja kestävyys suorituskyvyn heikkenemiseen sekä lukuisiin terveyttä ja hyvinvointia heikentäneisiin oireisiin. Kuitenkin kyseinen tutkimus ei sisältänyt seuranta tai mitään fysiologisia mittauksia, vaan koko aineisto kerättiin kyselyiden avulla. (Ackerman ym. 2019)

Varsinaiset EA:een liittyvät interventiotutkimukset tai joitakin fysiologisia mittauksia sisältävät tutkimukset ovat lähes poikkeuksetta kestäneet vain joitakin päiviä, eikä riittämättömän EA:n pitkän aikavälin tarkkoja vaikutuksia siksi tunneta kovin hyvin (Black ym. 2018; Logue ym. 2020; Loucks & Thuma 2003). Kuitenkin energiavajeen eli käytännössä riittämättömän EA:n haitalliset vaikutukset elimistön toimintaan, fyysiseen ja psyykkiseen terveyteen sekä suorituskyvyn taustalla oleviin tekijöihin tunnetaan melko hyvin (Dipla ym. 2021; Vanheest ym. 2014). Tutkimusnäyttö siis viittaa siihen, että riittämätön EA olisi myös suorituskyvyn kehittämisen kannalta haitallista tai ainakin epäoptimaalista, vaikka varsinaisia interventio- tai pitkiä seurattutkimuksia aiheesta ei olekaan tehty. (Logue ym. 2020; Mountjoy ym. 2018)

Yksi selitys korrelaatioiden puuttumiseen saattaa olla se, ettei tutkittavien energiastatuksessa ollut riittävän selkeitä eroja tutkittavien välillä. Kaikkien tutkittavien keskimääräinen EA oli vähentynyt eli sen perusteella selkeää hajontaa tutkittavien kesken ei ollut. Pitkittäistutkimusten ja interventioiden puuttuessa ei tiedetä EA:n raja-arvoa, jonka alittuessa suorituskyvyssä havaittaisiin heikentymistä tai kehityksen hidastumista. Samasta syystä ei myöskään tiedetä, kuinka vähentyneen tai matalan EA:n tulisi jatkua, jotta se heijastuisi varsinaiseen suorituskykyyn. (Burke ym. 2018) Lisäksi käytössä olevat EA:n raja-arvot eivät sellaisenaan sovi kaikille, sillä ne eivät huomioi esimerkiksi arkiaktiivisuutta tai ruokavalion koostumusta ja laatua mitenkään. (Melin ym. 2019) Voi siis olla, että vaikka kaikkien tutkittavien EA luokiteltiin vähentyneeksi, se ei kuitenkaan ollut riittävän alhainen, jotta suorituskyvyssä, kehonkoostumuksessa tai edes useimmiten ensimmäisenä riittämättömään EA:een reagoivassa hormonitoiminnassa olisi havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia (Burke ym. 2018). Toisaalta ei myöskään tiedetä, olisiko esimerkiksi tutkittavien suorituskykymuuttujissa havaittu kehittymistä, jos EA olisi ollut optimaalista.

Muutoksien tutkimisen haasteena puolestaan oli, ettei suorituskyky- kehonkoostumus- tai hormonimuuttujissa keskimäärin tapahtunut muutoksia jakson aikana, jolloin EA:n ja EI:n yhteyden tarkastelu nimenomaan muiden muuttujien muutoksiin ei ollut välttämättä mielekäästä. Joillakin yksittäisillä tutkittavilla suorituskyvyssä ja kehonkoostumuksessa tapahtui muutoksia, mutta korrelaatioiden havaitsemiseen olisi todennäköisesti tarvittu vielä pidempi tai kuormittavampi jakso, jonka aikana suuremmalla osalla tutkittavista olisi tapahtunut muutoksia esimerkiksi suorituskyvyn osalta.

Energiansaannilla puolestaan havaittiin joitakin hieman yllättäviä korrelaatioita suorituskyky- muuttujien kanssa: systemaattisesti havaittiin, että tutkittavat, joilla oli matalin EI paransivat testin aikaa eniten, kun taas he, joilla EI oli korkeampi maksimaalisen hapenottokyvyn testin kesto pysyi samana tai heikkeni. Tulos olisi ymmärrettävä, jos tutkittavat olisivat olleet ylipainoisia ja myös painossa olisi tapahtunut muutoksia, jolloin painon väheneminen saattaisi selittää parempaa suorituskykyä juokсутestissä taloudellisuuden parantuessa (Barnes & Kilding 2015a). Kuitenkin tässä tutkimuksessa suurin osa tutkittavista oli normaalipainoisia ja paino pysyi lähes kaikilla tutkittavilla hyvin vakaana läpi tutkimuksen. Kehonkoostumusmuuttujien muutosten korrelaatioita maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston muutokseen testattiin epävirallisesti, eikä mitään trendejä havaittu, eli kehonkoostumuksen muutos ei selittänyt matalamman EI:n korrelaatiota testin keston pidentymiseen ainakaan koko otoksen tasolla.

Samankaltaisia korrelaatioita havaittiin myös EI:n ja isometrisen maksimivoiman kanssa. Jälleen tutkittavat, joiden EI oli matalin, paransivat voimantuottoaan, kun taas voimantuotto heikkeni, mitä suurempi EI oli. Toisaalta, kuten aiemmin todettiin, suurin osa tutkittavista on ollut kutakuinkin energiatasapainossa tutkimuksen ajan joko riittävän energiansaannin tai adaptiivisen termogeneesin aiheuttaman energiankulutuksen vähentymisen takia. Siten havaitut korrelaatiot eivät tarkoita, että tutkittavat, joilla EI oli matalin, välttämättä olisivat olleet energiavaajeissa tai toisaalta, että tutkittavat, joiden EI oli suurin, olisivat olleet positiivisessa energiatasapainossa. EI on siis melko huono muuttuja tutkittavien vertailuun, koska tutkittavien energiantarve riippuu muun muassa FFM:sta ja arkiaktiivisuudesta (Areta ym. 2021). Tutkittavien vertailuun paremmin soveltuvalla EA:lla ei havaittu vastaavanlaisia korrelaatioita maksimaalisen hapenottokyvyn testin keston tai maksimivoiman kanssa.

Kun tarkasteltiin EI:n ja EA:n muutosten korrelaatioita suorituskyky-, kehonkoostumus- ja hormonimuuttujiin havaittiin odotetusti, että EA:n lisääntyessä myös rasvamassa lisääntyi. Toisaalta rasvamassa lisääntyi myös viidellä sellaisella tutkittavalla, joiden EA väheni jakson aikana, mikä viittaa siihen, ettei ennen ja jälkeen jakson täytetyt ruokapäiväkirjat välttämättä ole kuvanneet todellista tilannetta jakson aikana (Magkos & Yannakoulia 2003). Lisäksi EA:n lisääntyessä voimantuotto parani, kun taas EA:n pysyessä samana tai vähentyessä voimantuotto aleni. Tämän havainnon kanssa ristiriitaisesti havaittiin, että tutkittavat, joiden EI väheni, paransivat voimantuottoaan ja heillä, joilla EI lisääntyi, voimantuotto heikkeni.

Erään meta-analyysin mukaan yli kahdeksan viikkoa jatkuneessa energiavajeessa, johon EI:n aleneminen viittaa, FFM vähenee, mutta voimantuottoon energiavaje ei välttämättä vaikuta heikentävästi, tosin ei myöskään voimantuottoa parantavasti (Murphy & Koehler 2022), kuten tässä tutkimuksessa kävi. Kuitenkin tärkeä huomio on, että jakson aikana tutkittavien FFM:ssa ei keskimäärin tapahtunut muutoksia, eikä EI:n muutos korreloinut FFM:n tai painon muutosten kanssa. Toisin sanoen nekin tutkittavat, joiden EI jakson aikana aleni, pystyivät keskimäärin ylläpitämään FFM:aa ja painoaan. Siten on hyvin todennäköistä, etteivät tutkittavat, joiden EI väheni pre- mittauksesta mid-mittaukseen, todellisuudessa olleet energiavajeessa jakson aikana, vaikka ero pre- ja mid-mittausten EI:ssa viittaakin osalla tutkittavista EI:n vähenemiseen usean sadan kcal:n verran. Ruokapäiväkirjojen avulla ei saada suoranaisesti tietoa ravitsemuksesta jakson aikana, vaan ainoastaan ennen jaksoa ja sen jälkeen. Siten muutokset EA:ssa ja EI:ssa eivät välttämättä kuvastaneet tilannetta jakson aikana ja siksi havaittuihin yhteyksiin tulee suhtautua kriittisesti. Lisäksi on muistettava, että myös muutosten välisiä yhteyksiä havaittiin ainoastaan yksittäisillä jaksoilla, eikä johdonmukaisesti läpi tutkimuksen.

9.3 Tutkimuksen vahvuudet ja rajoitukset

Tutkimuksen vahvuutena oli usean mittapisteen käyttäminen, jolloin pystyttiin seuraamaan suorituskyky-, kehonkoostumus- sekä hormonimuuttujien muutoksia jakson aikana ja siten tutkimaan EA:n ja EI:n vaikutuksia pidemmän aikavälin muutoksiin. Kolmen mittapisteen ansiosta saatiin myös tietoa useammasta ruokapäiväkirjasta ja siten mahdollisesti realistisempi kuva keskimääräisestä ravitsemuksesta verrattuna yksittäiseen ruokapäiväkirjaan. Lisäksi mittapis-

teet oli tarkasti vakioitu kuukautiskierron ja hormonaalisen ehkäisytablettien vaiheen mukaan, jolloin kierron vaiheesta johtuvat mahdolliset vaikutukset eri muuttujiin pystyttiin vakioimaan.

Tutkimuksen heikkoutena oli vähäinen tutkittavien määrä. Lisäksi useilla tutkittavilla jäi jokin mittapiste tai ruokapäiväkirjan täyttäminen väliin, jolloin muutoksia tarkasteltaessa otoskoko pieneni entisestään. Erityisesti hormonien osalta otoskoko jäi valitettavan pieneksi, sillä kaikkia hormoneja ei ehditty analysoida ajoissa. Monien hormonien osalta havaittiin melko vahvojakin korrelaatioita EA:n ja EI:n kanssa sekä poikkileikkausasetelmissä että muutoksia tarkasteltaessa, mutta havainnot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, johon lienee osaltaan vaikuttanut tutkittavien vähäisyys. Lisäksi pienen otoskoon takia yksittäisen tutkittavan mahdollisesti poikkeava tulos on saattanut vaikuttaa koko ryhmän tuloksiin, jolloin on saatettu tehdä virheellisiä johtopäätöksiä muuttujien välisistä yhteyksistä.

Heikkoutena oli myös ruokapäiväkirjoihin ja erityisesti EA:n määrittämiseen liittyvät haasteet. Tutkittavat täyttivät ruokapäiväkirjaa aina kolmena ennalta määrättyä peräkkäisenä päivänä. Tällöin täyttöpäivät eivät välttämättä kuvanneet tutkittavan keskimääräistä ravitsemusta ja liikuntaa, vaan jakson ajalle saattoi sattua esimerkiksi juhlia tai lomamatkoja. Usein ruokapäiväkirjaa pyydetään täyttämään kolmena tyypillisenä päivänä sisältäen arki- ja vapaapäiviä. Päivien ei tavallisesti tarvitse olla peräkkäisiä, vaan tärkeämpää on, että ne ovat mahdollisimman tavanomaisia ja antavat siten paremman kuvan keskimääräisestä ravitsemuksesta. (Magkos & Yannakoulia 2003) Ruokapäiväkirjoihin itsessään liittyy useita virhelähteitä, vaikka täytetyt päivät olisivatkin tavanomaisia. Tyypillisimpiä virhelähteitä ovat tietoinen tai tiedostamaton syömiskäyttäytymisen muuttaminen päiväkirjan täytön ajaksi, virheellisesti arvioitujen annoskoot sekä puutteet raportoinnissa. Lisäksi analysointiin liittyy mittaajasta sekä analysointiohjelmasta johtuvia virhelähteitä (Magkos & Yannakoulia 2003; Burke ym. 2018). Tyypillisesti ruokapäiväkirjan avulla määritettyä energiansaantia aliarvioidaan (Magkos & Yannakoulia), joten voi olla, että todellisuudessa kaikkien tutkittavien EA ei ole ollut vähentynyt. Virhelähteet pyrittiin minimoimaan ohjaamalla tutkittavia täsmälliseen ja totuudenmukaiseen päiväkirjan täyttämiseen sekä valokuvien käyttöön silloin, kun annoksen kokoa tai sisältöä ei voitu arvioida tarkasti (esimerkiksi ravintolassa). Lisäksi saman tutkittavan jokaisen päiväkirjan analysoi aina sama henkilö.

Lisäksi EEE:n arviointi harjoituspäiväkirjan avulla on melko epätarkkaa (Burke ym. 2018). Harjoituksen aiheuttaman energiankulutuksen määrittäminen tehtiin MET-kertoimien avulla, eikä esimerkiksi tutkittavien syketaajuuksista harjoitusten aikana ollut tietoa. Erityisesti sellaisissa harjoituksissa, joissa ei mitattu edettyä matkaa (esimerkiksi voimaharjoittelu tai ryhmäliikuntatunnit), oli joskus haastavaa määrittää sopiva MET-kerroin, koska harjoituksen todellisesta intensiteetistä ei ollut tarkkaa tietoa. Myös harjoitusohjelmaan kuuluvien HIIT-harjoitusten osalta MET-kertoimen määrittäminen oli haastavaa, sillä harjoituksen keskivauhti saattoi olla melko alhainen, vaikka harjoitukseen sisältyi hyvin korkeaintensiteettisiä jaksoja. Siten harjoituksen intensiteetti ja sitä myötä EEE on saatettu joidenkin harjoitusten osalta arvioida väärin.

Kehonkoostumusta arvioitiin BIA-mittauksella, jonka on osoitettu yliarvioivan rasvattoman massan ja aliarvioivan rasvamassan määrää (McLester ym. 2020). Mahdolliset virheet rasvattoman massan määrittämisessä ovat vaikuttaneet suoraan EA:n arviointiin, sillä EA suhteutetaan rasvattoman massan määrään. Lisäksi BIA on herkkä elimistön nestetasapainon muutoksille ja kehonkoostumuksen muutoksia tutkittaessa on tärkeää, että nestetasapaino on kaikissa mittauksissa normaali. Yleensä BIA-mittausta ei suositella tehtävän kuukautisten aikana mahdollisen nesteen kertymisen vuoksi, mutta tässä tutkimuksessa mittaus suoritettiin juuri kuukautisten aikana, niillä tutkittavilla, jotka eivät käyttäneet hormonaalista ehkäisyä. Kierron vaiheen merkitys BIA-mittauksessa oli kuitenkin todennäköisesti hyvin vähäinen, ellei mitätön (Cumberledge ym. 2018). BIA-mittausta luotettavampi ja toistettavampi tapa mitata kehonkoostumusta olisi ollut DXA-mittaus (McLester ym. 2020) mutta koska DXA-mittausta ei suoritettu kaikissa mittapisteissä, päädyttiin käyttämään ainoastaan BIA-mittauksen tuloksia kehonkoostumuksen määrittämiseen.

Alun perin tutkimuksessa oli tarkoitus myös tarkastella hormonaalista ehkäisyä käyttävien ja normaalin kuukautiskierron omaavien tutkittavien eroja suorituskyky-, kehonkoostumus-, ja hormonimuuttujien muutoksissa harjoitusjakson aikana, mutta pienen otoskoon vuoksi ryhmät yhdistettiin ja jätettiin ryhmien vertailu tekemättä. Sen vuoksi ei voida sanoa, onko hormonaalisen ehkäisyn käyttäminen voinut jotenkin vaikuttaa tuloksiin. Joidenkin tutkimusten mukaan hormonaalisen ehkäisyn käyttö on ollut yhteydessä heikompaan VO_{2peak} :iin (Joyce ym. 2013) sekä painonnousuun ja rasvamassan lisääntymiseen, mutta ei uupumiseen kuluvaan aikaan (Cassazza ym. 2002), eikä maksimaaliseen voimantuottoon tai sen kehittymiseen (Myllyaho ym.

2013; Romance ym. 2019). Kokonaisnäytön perusteella hormonaalisen ehkäisyn käytön vaikutus suorituskykyyn ja kehonkoostumukseen on kuitenkin vähäinen tai olematon ryhmätasolla (Gallo ym. 2014; Elliott-Sale ym. 2020), mutta on mahdollista, että näin pienessä otoksessa yksilöllinen vaikutus on saattanut heijastua koko ryhmän tuloksiin.

9.4 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset

Tämän tutkimuksen ja aiemman tutkimusnäytön perusteella voidaan sanoa, että vähentynyt energian saatavuus on hyvin yleistä fyysisesti aktiivisilla naisilla. Aiempien tutkimusten perusteella jopa 45 %:a fyysisesti aktiivisista (Slater ym. 2016) ja vielä suurempi osa tavoitteellisesti urheiluvista naisista (Melin ym. 2019) on riskissä kliiniselle matalalle energian saatavuudelle (< 30 kcal/kg FFM/vrk). Sen tiedetään vaikuttavan negatiivisesti elimistön toimintaan, terveyteen ja pitkään jatkuessaan myös suorituskykyyn (Dipla ym. 2021; Mountjoy ym. 2018). Kuitenkaan tässä tutkimuksessa matalaa energian saatavuutta ei havaittu yhdelläkään tutkittavalla, mikä saattaa osittain selittää sen, ettei johdonmukaisesti ilmeneviä korrelaatioita EA:n ja suorituskykyä, kehonkoostumusta ja hormonitoimintaan kuvaavien muuttujien välillä havaittu. Kuitenkin ne yksittäiset yhteydet, joita havaittiin tukevat käsitystä siitä, että EA:n ollessa riittämätöntä aineenvaihduntaa ja kylläisyyttä säätelevien hormonien erityis on vähäisempää (Black ym. 2018; Koehler ym. 2016) ja suorituskyvyn ylläpitäminen ja varsinkin kehittäminen on haastavaa (Melin ym. 2019).

EA:n käyttäminen energiastatuksen mittarina ei välttämättä sovellu tutkimuksiin, joissa liikuntaa ja ravitsemusta ei ole kontrolloitu mitenkään, vaan niiden määrittäminen perustuu ainoastaan tutkittavien omaan raportointiin. Tässä tutkimuksessa ei esimerkiksi seurattu tutkittavien arkiaktiivisuutta: tutkittavien välinen vaihtelu arkiaktiivisuudessa ei vaikuta EA:n arvoon, mutta elimistön todelliseen energiastatukseen se vaikuttaa merkittävästi (Areta ym. 2021). Arkiaktiivisuus olisi ollut mahdollista ottaa huomioon EA:n määrittämisessä, sillä useimmille kotiaskareille ja fyysisille työtehtäville on määritetty MET-kertoimet (ProCon 2022). Lisäksi EA:n yhteyksiä suorituskyvyn, kehonkoostumuksen ja hormonitoiminnan pitkän aikavälin muutoksiin tarkasteltaessa olisi tutkittavien energiatasapainossa ja EA:ssa oltava suurempaa vaihtelua, jolloin tutkittavia voitaisiin esimerkiksi ryhmitellä EA:n eri raja-arvojen mukaan optimaalisen, vähentyneen ja matalan EA:n ryhmiin ja verrata ryhmien välisiä eroja. Tässä tutkimuksessa kaikkien tutkittavien EA luokiteltiin vähentyneeksi, eikä tällaista ryhmien välistä vertailua ollut

mahdollista tehdä. Lisäksi tutkimusjakson olisi hyvä olla niin pitkä ja harjoitusohjelman riittävän kuormittava, että muuttujissa havaittaisiin tilastollisesti merkitseviä muutoksia.

Vaikka tässä tutkimuksessa EI:lla havaittiin enemmän korrelaatioita muuttujien muutoksiin kuin EA:lla, ei EI silti todennäköisesti ole hyvä muuttuja kuvaamaan tutkittavien energiastausta, koska se ei itsessään kuvasta energiansaannin riittävyttä kulutukseen nähden (Areta ym. 2021). Kuitenkin ravitsemuksen yhteydestä varsinaiseen suorituskäyttöön olisi tärkeää saada tutkimustietoa, sillä matala EA ja riski siihen sekä esimerkiksi häiriintynyt syömiskäyttäytyminen ovat hyvin yleisiä haasteita erityisesti urheilijoilla, mutta myös fyysisesti aktiivisilla naisilla (Martinsen & Sundgot-Borgen 2013; Slater ym. 2016). Muun muassa Heikura ym. (2018) ovat ehdottaneet EA:ta paremmaksi muuttujaksi esimerkiksi alentuneita hormonipitoisuuksia tai kuukautiskierron häiriöitä. Kuitenkin tässä tutkimuksessa tutkittavilla tuli olla normaali kierto tai hormonaalinen ehkäisy, joten kuukautiskierron häiriöiden käyttäminen muuttujana ei olisi ollut mahdollista. Myös matalan EA:n riskiä arvioivan LEAF-Q-kysely käyttöä on ehdotettu luotettavammaksi muuttujaksi kuin varsinaisen EA:n määrittämistä, mutta kysely on suunnattu urheilijoille (Melin ym. 2014), eikä sen validiteettia muissa populaatioissa ole testattu.

Energian saatavuutta voisi olla mahdollista käyttää muuttujana energiavajeen ohella painonpudotusinterventioissa, joissa ruokavalio ja fyysinen aktiivisuus ovat huolellisesti kontrolloituja. Siten olisi mahdollista saada tarkempaa tietoa siitä, kuinka alhainen EA:n tulee olla, jotta siitä on haittaa suorituskäytön kannalta ja toisaalta kuinka kauan riittämätöntä EA:ta voidaan ylläpitää ennen kuin haittoja ilmenee. (Burke ym. 2018) Lisäksi suorituskäytön kuvaavia muuttujia voitaisiin valita monipuolisemmin kuin käyttämällä tyypillisimpiä muuttujia, kuten maksimaalista hapenottoa, maksimaalisen testin kestoa, laktaattipitoisuuksia ja maksimivoimaa. Ennen kuin näissä huomataan muutosta, saatettaisiin suorituskäytön selittävässä muuttujissa havaita eroja riittävän ja riittämättömän EA:n seurauksena (Dipla ym. 2021). Suorituskäytön muuttujien osalta voisi olla kiinnostavaa tutkia pitkällä aikavälillä esimerkiksi glykogeenivarastojen palautumista, loukkaantumisia, sairauspäiviä ja ylikuormitustilan kehittymistä sekä esimerkiksi rautavarastojen muutosta EA:n ollessa riittävää tai riittämätöntä. Energian saatavuuden täsmällisten vaikutusten ymmärtäminen olisi tärkeää ensisijaisesti siksi, että riittämätöntä EA:ta voitaisiin ehkäistä tehokkaammin ja ongelmiin puuttua varhaisessa vaiheessa. Toisaalta joskus on myös tilanteita, kun urheilijoiden tai aktiiviliikkujien painoa on järkevää vähentää energiansaantia rajoittamalla ja silloin olisi hyvä tietää, kuinka paljon ja miten pitkäksi aikaa EA:ta voidaan vähentää turvallisesti ja suorituskäytön kannalta järkevästi. (Wasserfurth ym. 2020)

LÄHTEET

- Ackerman, K. E., Holtzman, B., Cooper, K. M., Flynn, E. F., Bruinvels, G., Tenforde, A. S., Popp, K. L., Simpkin, A. J. & Parziale, A. L. (2019). Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *British journal of sports medicine* 53 (10), 628–633. doi:<https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098958>.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Jr, Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C. & Leon, A. S. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine and science in sports and exercise* 43 (8), 1575–1581. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>.
- Areta, J. L., Burke, L. M., Camera, D. M., West, D. W., Crawshay, S., Moore, D. R., Stellingwerff, T., Phillips, S. M., Hawley, J. A. & Coffey, V. G. (2014). Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism* 306 (8), 989–997. doi:<https://doi.org/10.1152/ajpendo.00590.2013>.
- Areta, J. L., Taylor, H. L. & Koehler, K. (2021). Low energy availability: history, definition and evidence of its endocrine, metabolic and physiological effects in prospective studies in females and males. *European journal of applied physiology*, 121 (1), 1–21. doi:<https://doi.org/10.1007/s00421-020-04516-0>.
- Arkader, R., Rosa, M. & Moretti, G. (2016). Physiological changes of exercise of thermogenesis, thyroid homeostasis and inflammation. *Endocrinology & Metabolism International Journal* 3 (4), 85–88. doi:[10.15406/emij.2016.03.00055](https://doi.org/10.15406/emij.2016.03.00055).
- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A. & Joyner, M. J. (2013). VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PloS one* 8 (9), e73182. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. (2015a). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports medicine - open* 1 (1), 8. doi:<https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>.
- Barnes, K. R. & Kilding, A. E. (2015b) Strategies to Improve Running Economy. *Sports Medicine* 45, 37–56. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0246-y>.

- Bassett, J. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (1), 70–84. doi:<https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>.
- Bergan-Roller, H. E. & Sheridan, M. A. (2018). The growth hormone signaling system: Insights into coordinating the anabolic and catabolic actions of growth hormone. *General and comparative endocrinology* 258, 119–133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2017.07.028>.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztein, J. P. & Mercier, J. (2003). The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 33 (6), 407–426. doi:<https://doi.org/10.2165/00007256200333060-00003>.
- Black, K., Slater, J., Brown, R. C., & Cooke, R. (2018). Low Energy Availability, Plasma Lipids, and Hormonal Profiles of Recreational Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 32(10), 2816–2824. doi:<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002540>.
- Bouassida, A., Chamari, K., Zaouali, M., Feki, Y., Zbidi, A. & Tabka, Z. (2010). Review on leptin and adiponectin responses and adaptations to acute and chronic exercise. *British journal of sports medicine* 44 (9), 620–630.
- 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. doi:[10.1123/ijsnem.2018-0142](https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0142).
- Burrows, M. & Peters, C. E. (2007). The influence of oral contraceptives on athletic performance in female athletes. *Sports medicine* 37 (7), 557–574. doi:<https://doi.org/10.2165/00007256-200737070-00001>.
- Carbone, J. W., McClung, J. P. & Pasiakos, S. M. (2012). Skeletal Muscle Responses to Negative Energy Balance: Effects of Dietary Protein. *Advances in Nutrition: An International Review Journal* 3 (2), 119–126. doi:<https://doi.org/10.3945/an.111.001792>.
- Carmichael, M. A., Thomson, R. L., Moran, L. J. & Wycherley, T. P. (2021). The Impact of Menstrual Cycle Phase on Athletes' Performance: A Narrative Review. *International journal of environmental research and public health* 18 (4), 1667. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph18041667>.

- Casazza, G. A., Suh, S., Miller, B. F., Navazio, F. m. & Brooks, G. A. (2002). Effects of oral contraceptives on peak exercise capacity. *Journal of Applied Physiology*, 93 (5), 1698–1702. doi:<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00622.2002>.
- Charlot, K., Cornolo, J., Borne, R., Brugniaux, J. V., Richalet, J., Chapelot, D. & Pichon, A. (2014). Improvement of energy expenditure prediction from heart rate during running. *Physiological Measurement* 35 (2), 253–266. doi:<https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/2/253>.
- Chidi-Ogbolu, N. & Baar, K. (2019). Effect of Estrogen on Musculoskeletal Performance and Injury Risk. *Frontiers in physiology* 9, 1834. doi:<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01834>.
- Ciloglu, F., Peker, I., Pehlivan, A., Karacabey, K., Ilhan, N., Saygin, O. & Ozmerdivenli, R. (2005). Exercise intensity and its effects on thyroid hormones. *Neuro endocrinology letters* 26 (6), 830–834.
- Clark J. E. (2015). Diet, exercise or diet with exercise: comparing the effectiveness of treatment options for weight-loss and changes in fitness for adults (18–65 years old) who are overfat, or obese; systematic review and meta-analysis. *Journal of diabetes and metabolic disorders* 14, 31. doi:<https://doi.org/10.1186/s40200-015-0154-1>.
- Coffey, V. G. & Hawley, J. A. (2017). Concurrent exercise training: do opposites distract? *The Journal of physiology* 595 (9), 2883–2896. doi:<https://doi.org/10.1113/JP272270>.
- Consitt, L. A., Copeland, J. L. & Tremblay, M. S. (2002). Endogenous anabolic hormone responses to endurance versus resistance exercise and training in women. *Sports medicine* 32 (1), 1–22. doi:<https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00001>.
- Cumberledge, E. A., Myers, C., Venditti, J. J., Dixon, C. B. & Andreacci, J. L. (2018). The Effect of the Menstrual Cycle on Body Composition Determined by Contact-Electrode Bioelectrical Impedance Analyzers. *International journal of exercise science* 11 (4), 625–632.
- Diaz-Canestro, C. & Montero, D. (2020). The Impact of Sex on Left Ventricular Cardiac Adaptations to Endurance Training: a Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine* 50 (8), 1501–1513. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-020-01294-9>.
- Dieli-Conwright, C. M., Spektor, T. M., Rice, J. C., Sattler, F. R. & Schroeder, E. T. (2009). Influence of hormone replacement therapy on eccentric exercise induced myogenic gene expression in postmenopausal women. *Journal of applied physiology* 107 (5), 1381–1388. doi:<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00590.2009>.

- Dipla, K., Kraemer, R. R., Constantini, N. W. & Hackney, A. C. (2021). Relative energy deficiency in sports (RED-S): elucidation of endocrine changes affecting the health of males and females. *Hormones* 20 (1), 35–47. doi:<https://doi.org/10.1007/s42000-020-00214-w>.
- Elliott, K. J., Cable, N. T. & Reilly, T. (2005). Does oral contraceptive use affect maximum force production in women? *British journal of sports medicine* 39 (1), 15–19. doi:<https://doi.org/10.1136/bjism.2003.009886>.
- Elliott-Sale, K. J., McNulty, K. L., Ansdell, P., Goodall, S., Hicks, K. M., Thomas, K., Swinton, P. A. & Dolan, E. (2020). The Effects of Oral Contraceptives on Exercise Performance in Women: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine* 50 (10), 1785–1812. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-020-01317-5>.
- Elliott-Sale, K. J., Tenforde, A. S., Parziale, A. L., Holtzman, B., & Ackerman, K. E. (2018). Endocrine Effects of Relative Energy Deficiency in Sport. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (4), 335–349. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0127>.
- Erdogan, R. (2020). Effects of Endurance Workouts on Thyroid Hormone Metabolism and Biochemical Markers in Athletes. *Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience* 11 (3), 136–146. doi: <https://doi.org/10.18662/brain/11.3/114>.
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: How valid are they? *Sports Medicine* 39 (6), 469–490. doi:<https://doi.org/10.2165/00007256-200939060-00003>.
- Filaire, E., Duché, P. & Lac, G. (1998). Effects of amount of training on the saliva concentrations of cortisol, dehydroepiandrosterone and on the dehydroepiandrosterone: cortisol concentration ratio in women over 16 weeks of training. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 78(5), 466–471. doi:<https://doi.org/10.1007/s004210050447>.
- Finn, E. E., Tenforde, A. S., Fredericson, M., Golden, N. H., Carson, T. L., Karvonen-Gutierrez, C. A. & Carlson, J. L. (2021). Markers of Low-Iron Status Are Associated with Female Athlete Triad Risk Factors. *Medicine and science in sports and exercise* 53 (9), 1969–1974. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002660>.
- Gallo, M. F., Lopez, L. M., Grimes, D. A., Carayon, F., Schulz, K. F. & Helmerhorst, F. M. (2014). Combination contraceptives: effects on weight. *The Cochrane database of systematic reviews* (1), CD003987. doi: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003987.pub5>.

- Gruzdeva, O., Borodkina, D., Uchasova, E., Dyleva, Y. & Barbarash, O. (2019). Leptin resistance: underlying mechanisms and diagnosis. *Diabetes, metabolic syndrome and obesity: targets and therapy* 12, 191–198. doi:<https://doi.org/10.2147/DMSO.S182406>.
- 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. doi:<https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1915391>.
- Heikura, I. A., Uusitalo, A., Stellingwerff, T., Bergland, D., Mero, A. A. & Burke, L. M. (2018). Low Energy Availability Is Difficult to Assess but Outcomes Have Large Impact on Bone Injury Rates in Elite Distance Athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism* 28 (4), 403–411. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0313>.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and science in sports and exercise* 39 (4), 665–671. doi:<https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>.
- Hennigar, S. R., McClung, J. P., Hatch-McChesney, A., Allen, J. T., Wilson, M. A., Carrigan, C. T., Murphy, N. E., Teien, H. K., Martini, S., Gwin, J. A., Karl, J. P., Margolis, L. M. & Pasiakos, S. M. (2021). Energy deficit increases hepcidin and exacerbates declines in dietary iron absorption following strenuous physical activity: a randomized-controlled cross-over trial. *The American journal of clinical nutrition* 113 (2), 359–369. doi:<https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa289>.
- Hinton P. S. (2014). Iron and the endurance athlete. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 39 (9), 1012–1018. doi:<https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0147>.
- Hughes, D. C., Ellefsen, S. & Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine* 8 (6), a029769. doi:<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>.
- Joyce, S., Sabapathy, S., Bulmer, A. & Minahan, C. (2013). Effect of long-term oral contraceptive use on determinants of endurance performance. *Journal of strength and conditioning research* 27 (7), 1891–1896. doi:<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182736935>.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology* 586 (1), 35–44. doi:<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>.

- Larson-Meyer, D. E., Woolf, K. & Burke, L. (2018). Assessment of nutrient status in athletes and the need for supplementation. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (2), 139–158. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0338>.
- Laursen P. B. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 20 (2), 1–10. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>.
- Lebrun C. M. (1993). Effect of the different phases of the menstrual cycle and oral contraceptives on athletic performance. *Sports medicine* 16 (6), 400–430. doi:<https://doi.org/10.2165/00007256-199316060-00005>.
- Lethaby, A., Wise, M. R., Weterings, M. A., Bofill Rodriguez, M. & Brown, J. (2019). Combined hormonal contraceptives for heavy menstrual bleeding. *The Cochrane database of systematic reviews* 2 (2), CD000154. doi:<https://doi.org/10.1002/14651858.CD000154.pub3>.
- Logue, D., Madigan, S. M., Delahunt, E., Heinen, M., Mc Donnell, S. J. & Corish, C. A. (2018). Low Energy Availability in Athletes: A Review of Prevalence, Dietary Patterns, Physiological Health, and Sports Performance. *Sports medicine* 48 (1), 73–96. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-017-0790-3>.
- Loe, H., Rognmo, Ø., Saltin, B. & Wisløff, U. (2013). Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20–90 years. *PloS one* 8 (5), e64319. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064319>.
- Loucks, A. B., Kiens, B. & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of sports sciences*, 29 (1), 7–15. doi:<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.588958>.
- 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 and metabolism* 88 (1), 297–311. doi:<https://doi.org/10.1210/jc.2002-020369>.
- Lundby, C., Montero, D. & Joyner, M. (2017). Biology of VO₂max: Looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica* 220 (2), 218–228. doi:<https://doi.org/10.1111/apha.12827>.
- 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. doi:<https://doi.org/10.2478/bhk-2021-0030>.

- Klok, M. D., Jakobsdottir, S. & Drent, M. L. (2007). The role of leptin and ghrelin in the regulation of food intake and body weight in humans: a review. *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity* 8 (1), 21–34. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2006.00270.x>.
- Knuiman, P., Hopman, M. T. & Mensink, M. (2015). Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutrition & metabolism* 12, 59. doi:<https://doi.org/10.1186/s12986-015-0055-9>.
- Koehler, K., De Souza, M. J. & Williams, N. I. (2016). Less-than-expected weight loss in normal-weight women undergoing caloric restriction and exercise is accompanied by preservation of fat-free mass and metabolic adaptations. *European Journal of Clinical Nutrition* 71 (3), 365–371. doi: <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.203>.
- Kojima, C., Ishibashi, A., Tanabe, Y., Iwayama, K., Kamei, A., Takahashi, H. & Goto, K. (2020). Muscle Glycogen Content during Endurance Training under Low Energy Availability. *Medicine and science in sports and exercise* 52 (1), 187–195. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002098>.
- Konopka, A. R. & Harber, M. P. (2014). Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exercise and sport sciences reviews* 42 (2), 53–61. doi: <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000007>.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., Hymer, W. C., Nindl, B. C. & Fragala, M. S. (2020). Growth Hormone(s), Testosterone, Insulin-Like Growth Factors, and Cortisol: Roles and Integration for Cellular Development and Growth With Exercise. *Frontiers in endocrinology* 11, 33. doi:<https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00033>.
- Kyle, U., Bosaeus, I., De Lorenzo, A., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J., Heitmann, B., Kent-Smith, L., Melchior, J-C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. & Pichard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23 (5), 1226–1243. doi:10.1016/j.clnu.2004.06.004.
- Larson-Meyer, D. E., Woolf, K. & Burke, L. (2018). Assessment of nutrient status in athletes and the need for supplementation. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (2), 139–158. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0338>.
- MacInnis, M. J. & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *Journal of Physiology* 595 (9), 2915–2930. doi: <https://doi.org/10.1113/JP273196>.

- Magkos, F. & Yannakoulia, M. (2003). Methodology of dietary assessment in athletes: Concepts and pitfalls. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 6 (5), 539–549. doi:<https://doi.org/10.1097/00075197-200309000-00007>.
- Martinsen, M. & Sundgot-Borgen, J. (2013). Higher prevalence of eating disorders among adolescent elite athletes than controls. *Medicine and science in sports and exercise* 45 (6), 1188–1197. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318281a939>.
- McKay, A., Pyne, D. B., Burke, L. M., & Peeling, P. (2020). Iron Metabolism: Interactions with Energy and Carbohydrate Availability. *Nutrients* 12 (12), 3692. doi:<https://doi.org/10.3390/nu12123692>.
- McKenzie D. C. (2012). Respiratory physiology: adaptations to high-level exercise. *British journal of sports medicine* 46 (6), 381–384. doi:<https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090824>.
- McLester, C. N., Nickerson, B. S., Kliszczewicz, B. M. & McLester, J. R. (2020). Reliability and Agreement of Various InBody Body Composition Analyzers as Compared to Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Healthy Men and Women. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry* 23 (3), 443–450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.10.008>.
- McNulty, K. L., Elliott-Sale, K. J., Dolan, E., Swinton, P. A., Ansdell, P., Goodall, S., Thomas, K. & Hicks, K. M. (2020). The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine* 50 (10), 1813–1827. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-020-01319-3>.
- Melin, A. K., Heikura, I. A., Tenforde, A. & Mountjoy, M. (2019). Energy availability in athletics: Health, performance, and physique. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29 (2), 152–164. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0201>.
- Melin, A., Tornberg, A. 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. doi:<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093240>.
- Milanović, Z., Sporiš, G. & Weston, M. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports medicine* 45 (10), 1469–1481. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>.

- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J. K., Burke, L. M., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A. K., Meyer, N. L., Sherman, R. T., Tenforde, A. S., Klungland Torstveit, M. & Budgett, R. (2018). IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *British journal of sports medicine*, 52 (11), 687–697. doi:<https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099193>.
- Mullur, R., Liu, Y. Y. & Brent, G. A. (2014). Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiological reviews* 94 (2), 355–382. doi:<https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2013>.
- Murphy, C. & Koehler, K. (2022). Energy deficiency impairs resistance training gains in lean mass but not strength: A meta-analysis and meta-regression. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 32 (1), 125–137. doi:<https://doi.org/10.1111/sms.14075>.
- Mustajoki, P. (2020). Painoindeksi (BMI). *Terveyskirjasto. Lääkärikirja Duodecim*. Viitattu 7.6.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01001>.
- Myllyaho, M. M., Ihalainen, J. K., Hackney, A. C., Valtonen, M., Nummela, A., Vaara, E., Häkkinen, K., Kyröläinen, H. & Taipale, R. S. (2021). Hormonal Contraceptive Use Does Not Affect Strength, Endurance, or Body Composition Adaptations to Combined Strength and Endurance Training in Women. *Journal of strength and conditioning research*, 35(2), 449–457. doi:<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002713>.
- Oprea, A., Bonnet, N., Pollé, O. & Lysy, P. A. (2019). Novel insights into glucocorticoid replacement therapy for pediatric and adult adrenal insufficiency. *Therapeutic advances in endocrinology and metabolism* 10. doi:<https://doi.org/10.1177/2042018818821294>.
- Ouerghi, N., Feki, M., Bragazzi, N. L., Knechtle, B., Hill, L., Nikolaidis, P. T. & Bouassida, A. (2021). Ghrelin Response to Acute and Chronic Exercise: Insights and Implications from a Systematic Review of the Literature. *Sports medicine* 51 (11), 2389–2410. doi:<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01518-6>.
- Pradhan, G., Samson, S. L. & Sun, Y. (2013). Ghrelin: much more than a hunger hormone. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care* 16 (6), 619–624. doi:<https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e328365b9be>.
- ProCon. (2022). MET Values for 800+ Activities. Viitattu 19.2.2023. <https://golf.procon.org/met-values-for-800-activities>.
- Pöllänen, E., Fey, V., Törmäkangas, T., Ronkainen, P. H., Taaffe, D. R., Takala, T., Koskinen, S., Cheng, S., Puolakka, J., Kujala, U. M., Suominen, H., Sipilä, S. & Kovanen, V. (2010). Power training and postmenopausal hormone therapy affect transcriptional

- control of specific co-regulated gene clusters in skeletal muscle. *Age (Dordrecht, Netherlands)* 32 (3), 347–363. doi:<https://doi.org/10.1007/s11357-010-9140-1>.
- Redman, L. M., Heilbronn, L. K., Martin, C. K., de Jonge, L., Williamson, D. A., Delany, J. P. & Ravussin, E. (2009). Metabolic and behavioral compensations in response to caloric restriction: implications for the maintenance of weight loss. *PloS one* 4 (2), e4377. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004377>.
- Rickenlund, A., Carlström, K., Ekblom, B., Brismar, T. B., Von Schoultz, B. & Hirschberg, A. L. (2004). Effects of oral contraceptives on body composition and physical performance in female athletes. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 89 (9), 4364–4370. doi:<https://doi.org/10.1210/jc.2003-031334>.
- Romance, R., Vargas, S., Espinar, S., Petro, J. L., Bonilla, D. A., Schöenfeld, B. J., Kreider, R. B. & Benítez-Porres, J. (2019). Oral Contraceptive Use does not Negatively Affect Body Composition and Strength Adaptations in Trained Women. *International journal of sports medicine*, 40(13), 842–849. doi:<https://doi.org/10.1055/a-0985-4373>.
- Sawka, M. N., Convertino, V. A., Eichner, E. R., Schnieder, S. M. & Young, A. J. (2000). Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Medicine and science in sports and exercise* 32 (2), 332–348. doi:<https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00012>.
- Schaumberg, M. A., Emmerton, L. M., Jenkins, D. G., Burton, N. W., Janse de Jonge, X. & Skinner, T. L. (2018). Use of Oral Contraceptives to Manipulate Menstruation in Young, Physically Active Women. *International journal of sports physiology and performance* 13 (1), 82–87. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0689>.
- Sillanpää, E., Häkkinen, A., Nyman, K., Mattila, M., Cheng, S., Karavirta, L., Laaksonen, D. E., Huuhka, N., Kraemer, W. J. & Häkkinen, K. (2008). Body composition and fitness during strength and/or endurance training in older men. *Medicine and science in sports and exercise* 40 (5), 950–958. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318165c854>.
- Sillanpää, E., Laaksonen, D. E., Häkkinen, A., Karavirta, L., Jensen, B., Kraemer, W. J., Nyman, K. & Häkkinen, K. (2009). Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *European journal of applied physiology* 106 (2), 285–296. doi:<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1013-x>.
- Silva, A. M., Júdice, P. B., Carraça, E. V., King, N., Teixeira, P. J. & Sardinha, L. B. (2018). What is the effect of diet and/or exercise interventions on behavioural compensation in non-exercise physical activity and related energy expenditure of free-living adults? A

- systematic review. *The British journal of nutrition* 119 (12), 1327–1345. doi:<https://doi.org/10.1017/S000711451800096X>.
- Slater, J., McLay-Cooke, R., Brown, R. & Black, K. (2016). Female Recreational Exercisers at Risk for Low Energy Availability. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 26 (5), 421-427. doi:<https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0245>
- Smiles, W. J., Hawley, J. A. & Camera, D. M. (2016). Effects of skeletal muscle energy availability on protein turnover responses to exercise. *The Journal of experimental biology* 219 (2), 214–225. doi:<https://doi.org/10.1242/jeb.125104>.
- Sokoloff, N., Misra, M. & Ackerman, K. E. (2016). Exercise, Training, and the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in Men and Women. *Frontiers of hormone research* 47, 27–43. doi:<https://doi.org/10.1159/000445154>.
- Taipale-Mikkonen, R. S., Raitanen, A., Hackney, A. C., Solli, G. S., Valtonen, M., Peltonen, H., McGawley, K., Kyröläinen, H. & Ihalainen, J. K. (2021). Influence of Menstrual Cycle or Hormonal Contraceptive Phase on Physiological Variables Monitored During Treadmill Testing. *Frontiers in physiology* 12, 761760. doi:<https://doi.org/10.3389/fphys.2021.761760>.
- Tiitinen, A. (2022.) Kuukautisia edeltävät oireet premenstruaalioireyhtymä, PMS. Terveyskirjasto. Lääkärikirja Duodecim. Viitattu 12.10.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00163>.
- Tiitinen, A. (2021). Normaali kuukautiskierto. Terveyskirjasto. Lääkärikirja Duodecim. Viitattu 17.4.2021. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00158>.
- Tornberg, Å B., Melin, A., Koivula, F. M., Johansson, A., Skouby, S., Faber, J. & Sjodin, A. (2017). Reduced neuromuscular performance in amenorrheic elite endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 49 (12), 2478–2485. doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001383>.
- Tremblay, A., Dutheil, F., Drapeau, V., Metz, L., Lesour, B., Chapier, R., Pereira, B., Verney, J., Baker, J. S., Vinet, A., Walther, G., Obert, P., Courteix, D. & Thivel, D. (2019). Long-term effects of high-intensity resistance and endurance exercise on plasma leptin and ghrelin in overweight individuals: the RESOLVE Study. *Applied physiology, nutrition, and metabolism* 44 (11), 1172–1179. doi:<https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0019>.
- 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 and*

- Science in Sports and Exercise 46 (1), 156–166.
doi:<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182a32b72>.
- Wahl, P., Mathes, S., Köhler, K., Achtzehn, S., Bloch, W. & Mester, J. (2013). Acute metabolic, hormonal, and psychological responses to different endurance training protocols. *Hormone and metabolic research* 45 (11), 827–833.
- Wasserfurth, P., Palmowski, J., Hahn, A. & Krüger, K. (2020). Reasons for and Consequences of Low Energy Availability in Female and Male Athletes: Social Environment, Adaptations, and Prevention. *Sports medicine – open* 6 (1), 44. doi:
<https://doi.org/10.1186/s40798-020-00275-6>.
- Weltman, A., Weltman, J. Y., Schurrer, R., Evans, W. S., Veldhuis, J. D. & Rogol, A. D. (1992). Endurance training amplifies the pulsatile release of growth hormone: effects of training intensity. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 72(6), 2188–2196. doi:<https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.6.2188>.
- Wewege, M., van den Berg, R., Ward, R. E. & Keech, A. (2017). The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews: an official journal of the International Association for the Study of Obesity* 18 (6), 635–646. doi:<https://doi.org/10.1111/obr.12532>.
- Willett, H. N., Koltun, K. J. & Hackney, A. C. (2021). Influence of Menstrual Cycle Estradiol- β -17 Fluctuations on Energy Substrate Utilization-Oxidation during Aerobic, Endurance Exercise. *International journal of environmental research and public health*, 18 (13), 7209. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph18137209>.
- Wong, C. L., Farquhar, C., Roberts, H. & Proctor, M. (2009). Oral contraceptive pill for primary dysmenorrhoea. *The Cochrane database of systematic reviews* 2009 (4), CD002120. doi:<https://doi.org/10.1002/14651858.CD002120.pub3>.
- Woods, A. L., Garvican-Lewis, L. A., Lundy, B., Rice, A. J. & Thompson, K. G. (2017). New approaches to determine fatigue in elite athletes during intensified training: Resting metabolic rate and pacing profile. *PloS one* 12 (3), e0173807. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173807>.
- Yavuz, S., Salgado Nunez Del Prado, S. & Celi, F. S. (2019). Thyroid Hormone Action and Energy Expenditure. *Journal of the Endocrine Society* 3 (7), 1345–1356. doi:<https://doi.org/10.1210/js.2018-00423>.

LIITTEET

Liite 1. Ruokapäiväkirjan täyttöohjeet ja esimerkkipäivä.

OHJEITA RUOKAPÄIVÄKIRJAN TÄYTTÄMISEEN

Saat noudattaa tutkimusjakson aikana tavanomaista ruokavaliotasi ja ruokailutottumuksiasi. Yleisenä ohjeistuksena on, ettet tee radikaaleja muutoksia syömistottumuksiisi tutkimuksen aikana, vaan pyrit jatkamaan ruokailutottumuksiasi pääosin samanlaisina kuin yleensäkin. Esimerkiksi uutta ruokavaliota tai "dieettiä" ei ole toivottavaa aloittaa tutkimuksen aikana.

Ruokapäiväkirjan avulla selvitetään, millaisia ruokailutottumuksesi ovat ja kuinka paljon saat ruokavaliostasi energiaa ja ravintoaineita. Täytä ruokapäiväkirjaa kolmen päivän ajan aloittaen suorituskykytestin jälkeisestä päivästä. Esimerkki: Jos suorituskykymittaus on 3.5., täytät ruokapäiväkirjaa 4.5.–6.5. välisen ajan.

Merkitse ruokapäiväkirjalomakkeelle kaikki kolmen vuorokauden aikana nauttimasi ruoat ja juomat, mukaan lukien vesi. Pidä ruokavaliiosi ja -tottumuksesi mahdollisimman normaalina ruokapäiväkirjan täyttämisen huolimatta.

Helpointa on, jos pidät ruokapäiväkirjaa aina mukanas ja täytät sitä heti ruokailtuasi. Jos täytät lomakkeen vasta päivän lopussa, sinun on hankalampi muistaa syömisiäsi. Mikäli lomakkeelta loppuu vapaa kirjaustila kesken, jatka uudelle lomakkeelle, mutta muista merkitä siihen päivämäärä. Aloita uusi päivä aina uudelta lomakkeelta.

Merkitse jokaisen ruokailun osalta ruokailun kellonaika sekä paikka, jossa ruokailu tapahtui (esim. koti, lounasravintola, kahvila...).

Kirjaa jokainen yksittäinen ruoka tai juoma omalle rivilleen seuraavien ohjeiden mukaisesti:

- Kirjaa yksi ruoka-aine yhdelle riville. Esim. aamupalaleivästä merkitään leipä, levite ja leivänpäälliset omille riveilleen.
- **Kirjaa mahdollisimman tarkasti ruokien ja juomien:**
 - **Laatu.** Esim. rasvaton maito, kaurapuuro (keitetty kevytmaitoon), voisilmäpulla (leivonnassa voi), omena (kotimainen), suodatinkahvi/pannukahvi, tonnikala (säilötty auringonkukkaöljyssä).
 - **Tuotteen kauppanimi.** Esim. Ruispalat, Kreikkalainen jogurtti, Kevyt Snack -nakki.
 - **Tuotteen valmistaja.** Esim. Atria, Fazer, Valio, Rainbow.
 - **Valmistustapa.** Esim. peruna (keitetty), kananmuna (paistettu; muista merkitä tässä tapauksessa myös ruoanvalmistusrasva omalle rivilleen esim. Keiju juokseva 80 %, 1 rkl), omena (kuorittu), kirjolohi (kypsennetty uunissa).
 - **Rasvapitoisuus tai se, sisältääkö tuote sokeria vai makeutusainetta.** Esim. Luonnonjogurtti rasvaton, naudan jauheliha 10 %, Becel 60 %, Edam 17 %, Coca-cola (light).
- Kirjaa omaan sarakeeseensa annoksen koko tai kappalemäärä mahdollisimman tarkasti arvioituna tai mitattuna. Käytä apuna keittiövaakaa, jos mahdollista. Ilmoita myös koskeeko tilavuus/paino raakaa vai kypsennettyä/keitettyä ruoka-ainetta. Myös pakkausmerkinnöistä saat apua annoskoon arviointiin. Jos annoksia ei ole mahdollista punnita esimerkiksi työpaikka-/opiskelijaravintoloissa, **valokuvaa annos puhelimella** ja lataa kuvat omaan NextCloud-kansioosi sekä nimeä siihen oma ID eli tutkimusnumero, päivämäärä ja kellonaika (esim. NQ123_13062022_11.30). Huomioi myös mahdollisesti syömättä jäänyt ruoka, jotta et laske sitä mukaan syötyihin annoksiin.
 - Juomat desilitroina, lasillisina, kupillisina tai pulloina. Esim. pannukahvi; 1 kupillinen (pieni kuppi tai desilitroina), keskiolut; 2 ploa.

- o Keitot grammoina tai desilitroina tai lautasellisina: iso (=4 dl), keskikokoinen (=3 dl), pieni (= 2 dl).
- o Kastikkeet desilitroina tai ruokalusikallisina.
- o Laatikkoruoat desilitroina tai grammoina.
- o Liha- ja kalaruoat desilitroina tai grammoina
- o Perunat mieluiten grammoina tai kappaleittain koon mukaan kuvailtuna (iso, keskikokoinen, pieni), esim. peruna (pieni), keitetty kuorineen, keitinvedessä suolaa; 4 kpl.
- o Riisi, pasta tai muu lisäke desilitroina tai grammoina (ilmoita onko paino/tilavuus keitettyinä vai raakapainona eli keittämättömänä).
- o Salaatit grammoina.
- o Vihannekset kappaleittain, viipaleittain tai grammoina, esim. kurkku; 6 viipaletta
- o Hedelmät kappaleittain grammoina. Kun kirjaat painon mukaan, merkitse ylös, punnitsitko hedelmän kuorineen vai kuorittuna, esim. omena kuorittu (ulkomainen); 130 g (punnittu kuorineen).
- o Voi, margariini ja muut levitteet tee- tai ruokalusikallisina tai annosnappeina (grammoina).
- o Sokeri, makeutusaineet, suola ja maustekastikkeet kuten sinappi ja ketsuppi tee- tai ruokalusikallisina tai paloina.
- o Leipä grammoina. Huom. Leipäpakteissa ilmoitetaan usein tuotteen paino siivuittain.
- o Makeiset, suklaat, pähkinät, yms. kappaleittain, grammoina tai desilitroina.
- o Kirjaa lomakkeeseen myös käyttämäsi ravintolisät ja lisäravinteet.

Palauta kierron loppuvaiheen ruokapäiväkirja seuraavalla mittauskerralla ja kierron alkuvaiheen ruokapäiväkirjana valokuvana Nextcloud-kansioosi, jottei se häviä ennen seuraavaa mittauskertaa.

ID: _____

PÄIVÄ	AIKA	PAIKKA	RUOKA-AINE, JUOMA, RUOKALAJI	MÄÄRÄ
04.08.11	Klo 6.45	Koti	pakastemustikka	150 g
			Valio A+ rasvaton luonnonjogurtti	2 dl
			suodatinkahvi	1 kuppi (3dl)
			Valio rasvaton laktoositon maitujuoma	3 rkl
			Vaasan ruispalat	2 siivua (TAI 55 g)
			Becel 38 %	3 tl
			Valio Edam 17 %	2 siivua
			Kurkku	6 siivua
	Klo 10.35	Amica, työpaikalla	salaatti (kurkku, lehtisalaatti, tomaatti)	1 dl
			salaatinkastike (kermaviilipohjainen)	2 rkl
			Täysjyväriisi (kypsennetty)	2,5dl
			Purjosipulikastike (kasvirasvapohjainen)	1 dl
			Seiti (kypsennetty uunissa)	2 palaa (1 pala=100g kypsänä)
			Valio laktoositon kevytmaitujuoma	2 lasia (2 dl)
	Klo 13.05	Työpaikka	suklaakeksi (pieni; itse tehty, rasvana voi)	1 kpl
			Valio appelsiinituoremehu	1 lasi (2 dl)
	Klo 16.15	Koti	Banaani (keskikokoinen)	1 kpl
	Klo 18.20	Koti	omena kotimainen (pieni; kuorineen)	1 kpl
	Klo 21.15	Koti	Atria lihapiirakka	1 kpl
			Atria kevyt snack nakki	2 kpl
			Felix ketsuppi	4 rkl
			BonAqua kivennäisvesi	2 lasia (3 dl)
			Olvi keskiolut	2 ptoa

Liite 2. Harjoituspäiväkirja.

Koehenkilökoodi (ID) XXXXX									
Ohjeet harjoituspäiväkirjan täyttämiseen:									
- Täytä harjoituspäiväkirjaan kaikki harjoitukset, jotka teet tutkimusjakson aikana (myös kontrollijakson aikana).									
- Käytä pudotusvaihtokkoja sarakkeissa, jossa sellaiset on luotu.									
- Jos pudotusvaihtokkoja ei löydy sopivaa, valitse muu, ja kirjoita harjoituksen kuvailu -sarakkeeseen tarkemmat tiedot harjoituksesta.									
- Jos olet tehnyt useamman kuin yhden harjoituksen päivässä, merkitse harjoitukset kokonaan eri riveille.									
- Jos päiväsi ei sisältänyt harjoitusta, merkitse harjoituksen kuvailu -sarakkeeseen: LEPO.									
- Jos lepöpäivä liittyy sairastumiseen, loukkaantumiseen tms. odottamattomaan syyhyyn, mainitse myös tämä harjoituksen kuvailu -sarakeessa.									
Päivämäärä	Laji	Alusta	Harjoitustyyppi	Harjoituksen kuvailu	Toteutunut kesto (h:min -> 0:00)	Toteutunut matka (km)	Session RPE (0-10)	Koettu palautumistila (0-10)	Koettu stressi (0-10)
(ESIMERKKI) 6.9.2019	Juoksu	Tie	MET	MET-jakson juoksuharjoitus, normaalia aikaisempi ajankohita vaikutti rasitusuutemukseen			2	8	2
(ESIMERKKI) 7.9.2019	Muu	Muu	Palauttava	Palauttava keuhonhuoltotunti, ohjattu jooga			2	9	2
(ESIMERKKI) 7.9.2019	Juoksu	Maasto	HIT	HIT-jakson juoksuharjoitus, pohkeet vähän aran tuntaiset			8	9	2
(ESIMERKKI) 8.9.2019				Lepo: sairaana			0	6	3