

**ENERGIANSAAATAVUUS JA LEPOAINEENVAIHDUNTA HARJOITUSKAUDEN
ERI VAIHEISSA KANSALLISEN JA KANSAINVÄLISEN TASON
NAISKESTÄVYYSURHEILJOILLA**

Eveliina Heikkilä

Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Eveliina Heikkilä. 2024. Energiinsaattavuus ja lepoaineenvaihdunta harjoituskauden eri vaiheissa kansallisen ja kansainvälisen tason naiskestävyysurheilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma, 44 s.

Riittävä energiinsaattavuus on urheilijan ruokavalion perusta. Liian vähäinen energiinsaattavuus heikentää suorituskykyä ja vaarantaa urheilijan terveyden. Energiinsaattavuuden on havaittu vaikuttavan myös lepoaineenvaihduntaan. Energiinsaattavuuden määrittämiseksi ei ole kuitenkaan standardoitu tiettyä mittausmenetelmää. Urheilijoilla energiantarve on riippuvaista harjoituskaudesta ja sen mukaisesta harjoittelun määrästä. Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella energiinsaattavuutta ja lepoaineenvaihduntaa peruskuntokaudella ja kilpailukaudella naiskestävyysurheilijoilla. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, onko ruokapäiväkirjojen ja lepoaineenvaihdunnan välillä yhteyttä tarkasteltaessa energiinsaattavuutta.

Tämä tutkimus toteutettiin osana ”Huippu-urheilijoiden suorituskyky: kehonkoostumuksen, energian ja energiaravintoaineiden jaksotus eri harjoituskauden vaiheiden välillä”, NoREDS-tutkimusta. Tutkimuksessa käytettiin poikkileikkaus- ja pitkittäistutkimusasetelmia. Tähän tutkimukseen osallistui 44 15–34 –vuotiasta kansallisella ja kansainvälisellä tasolla kilpailevaa naiskestävyysurheilijaa. Tuloksia hyödynnettiin tutkittavilta vaihtelevasti 1–2 mittauskerrasta. Kehonkoostumus määritettiin DXA:lla. Energiinsaattavuuden määrittämiseksi tutkittavat täyttivät ruoka- ja harjoituspäiväkirjoja neljän päivän ajan. Lepoaineenvaihdunta määritettiin epäsuoralla kalorimetrialla. Laskennallisen lepoaineenvaihdunnan määrittämiseen käytettiin Cunninghamin kaavaa.

Energiinsaattavuus, lepoaineenvaihdunta tai kehonkoostumus eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi harjoituskauden ja kilpailukauden välillä. Mitattu lepoaineenvaihdunta oli yhteydessä erityisesti rasvattomaan massaan sekä peruskuntokaudella ($p=0,004$), että kilpailukaudella ($p=0,038$). Peruskuntokauden energiinsaattavuus oli yhteydessä peruskuntokauden suhteelliseen lepoaineenvaihduntaan ($p=0,013$). Energiinsaattavuuden muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä lepoaineenvaihdunnan tai kehonkoostumuksen muutoksiin kauden eri vaiheissa.

Energiinsaattavuuden säätely optimaalisesti harjoituskauden mukaan ei käytännössä toteudu. Energiinsaattavuus jää myös suurella osalla urheilijoista alle optimaalisen energiinsaattavuuden raja-arvon. Lepoaineenvaihdunta on yhteydessä erityisesti rasvattomaan massaan, mikä vaikuttaakin kehonkoostumuksesta eniten lepoaineenvaihduntaan. Suhteellisen lepoaineenvaihdunnan avulla voidaan havaita matalaa energiinsaattavuutta, mutta sitä ei voida pitää täysin yksiselitteisenä mittarina.

Asiasanat: energiinsaattavuus, lepoaineenvaihdunta, kehonkoostumus, naiskestävyysurheilija

KÄYTETYT LYHENTEET

DXA	dual energy X-ray absorptiometry, kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometria
EA	energy availability, energiansaatavuus
EEE	exercise energy expenditure, harjoittelun aiheuttama energiankulutus
EI	energy intake, energiansaanti
FM	fat mass, rasvamassa
FFM	fat free mass, rasvaton massa
LEA	low energy availability, matala energiansaatavuus
mRMR	measured resting metabolic rate, mitattu lepoaineenvaihdunta
pRMR	predicted resting metabolic rate, laskennallinen lepoaineenvaihdunta
REDs	relative energy deficiency in sport, suhteellinen energiavaje urheilussa
RMR	resting metabolic rate, lepoaineenvaihdunta
rRMR	relative resting metabolic rate, suhteellinen lepoaineenvaihdunta

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 ENERGIANSAAATAVUUS.....	3
2.1 Matalan energiansaatavuuden vaikutukset	5
2.2 Energiansaatavuus naiskestävyysurheilijoilla.....	8
2.3 Energiansaatavuus harjoituskauden eri vaiheissa	11
3 LEPOAINEENVAIHDUNTA	15
3.1 Lepoaineenvaihdunnan määrittäminen epäsuoralla kalorimetrialla.....	15
3.2 Lepoaineenvaihduntaan vaikuttavat tekijät	17
3.2.1 Adaptiivinen termogeneesi.....	17
3.2.2 Kehonkoostumuksen vaikutus lepoaineenvaihduntaan	18
3.2.3 Energiasaatavuuden vaikutus lepoaineenvaihduntaan.....	19
3.3 Lepoaineenvaihdunta matalan energiansaatavuuden merkinä.....	21
4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	22
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	24
5.1 Tutkittavat.....	24
5.2 Koeasetelma	25
5.3 Aineiston keräys.....	25
5.4 Aineiston analysointi	27
5.5 Tilastolliset menetelmät.....	28
6 TULOKSET.....	29
7 POHDINTA.....	35
LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Energiansaataavuus on urheiluravitsemuksessa viime aikoina hallinnut käsite, joka vertaa energiansaantia optimaalisen terveyden ja toiminnan tarpeisiin energiatasapainon sijaan (Thomas ym. 2016). Energiatasapaino käsitteenä ei nimittäin ota huomioon kehon fysiologisten toimintojen terveyden kannalta optimaalista toimintaa, vaikka energiansaanti kohtaisikin kokonaisenergiankulutuksen (Loucks ym. 2011). Energiansaataavuus-käsite taas huomioi ravinnosta saatavan energian kulumisen muun muassa solujen toimintaan, lämmönsäätelyyn, kasvuun, lisääntymisterveyteen, immunitettiin ja liikkumiseen, mistä syystä energiansaataavuus kuvaa paremmin urheilijan todellista energiantarvetta (Loucks 2014, 73).

Optimaalinen energiansaataavuus on urheilijan ruokavalion perusta. Se tukee kehon normaalia toimintaa, määrittää ravintoaineiden saannin sekä vaikuttaa kehonkoostumuksen muokkaamiseen ja suorituskyvyn optimoimiseen. Matala energiansaataavuus taas vaarantaa urheilijan suorituskyvyn niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä. (Thomas ym. 2016) Matala energiansaataavuus ja siihen liittyvät oireet ovat keskeinen haaste urheilijoiden keskuudessa, erityisesti kestävyyslajeissa (Melin ym. 2019). Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat, että matalaa energiansaataavuutta esiintyy 22–58 %:lla urheilijoista riippuen lajista (Logue ym. 2020). Energiansaannin tarkka arviointi on melko haastavaa (Heikura 2021, 31), eikä energiansaataavuuden määrittämiseen ole standardoitu tiettyä mittausmenetelmää (Logue ym. 2018).

Fyysinen aktiivisuus ja harjoittelu lisäävät energiankulutusta. Harjoittelun aiheuttamaan energiankulutuksen määrään vaikuttaa harjoittelun kesto ja teho. (McArdle ym. 2015, 202; Thomas ym. 2016) Urheilijoiden päivän energiankulutuksesta suuri osa kuluu urheilusuorituksissa (McArdle ym. 2015, 199). Ravinnosta on saatava riittävästi energiaa suorituskyvyn ja palautumisen turvaamiseksi sekä näiden avulla ylirasitustilan ehkäisemiseksi (Mountjoy ym. 2018).

Fyysinen aktiivisuus tehostaa myös lepoaineenvaihduntaa (McArdle ym. 2015, 194). Tämän lisäksi energiansaannin on havaittu vaikuttavan lepoaineenvaihduntaan ja liian vähäinen energiansaanti suhteessa energiantarpeeseen aiheuttaa aineenvaihdunnan tason laskua (Rosenbaum & Leibel 2016). Koska energiansaataavuuden tarkka mittaaminen on käytännössä

haastavaa, lepoaineenvaihdunnan laskua on tutkittu matalan energiansaataavuuden merkinä (Melin ym. 2015a; Schofield ym. 2019; Staal ym. 2018).

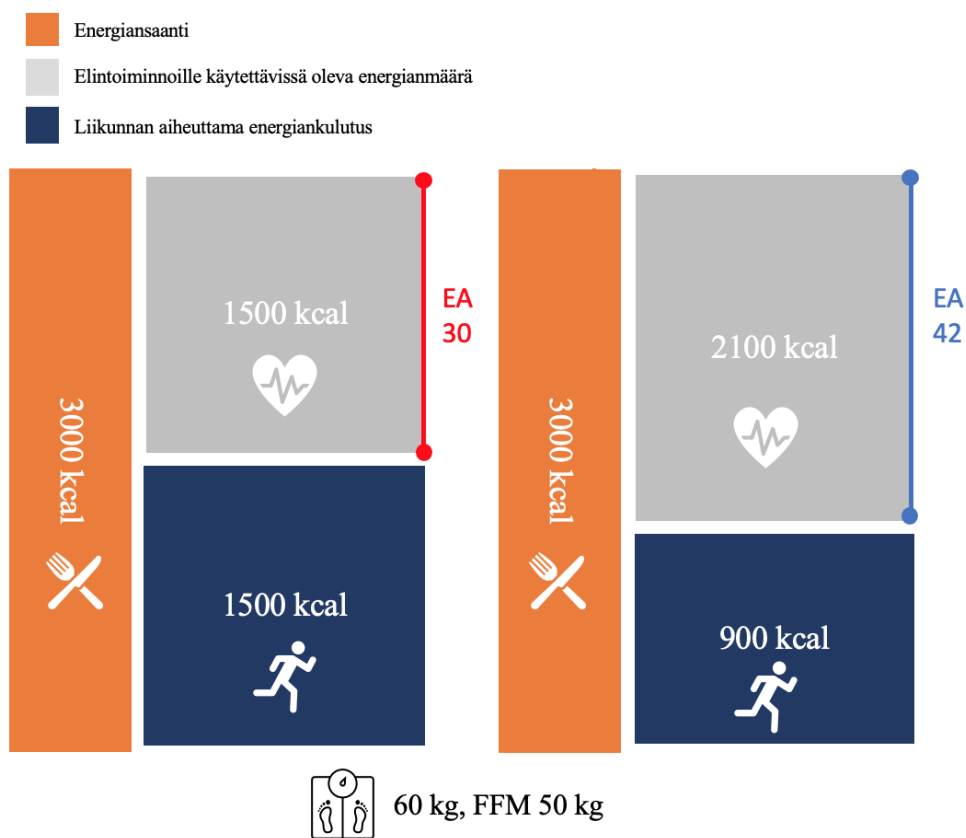
Ravitsemukselliset vaatimukset urheilussa eivät ole täysin muuttumattomia. Urheilijat valmistautuvat huippusuorituksiin jaksotetulla ohjelmalla, jossa toteutetaan erityylistä harjoittelua harjoituskauden eri vaiheissa. Energiantarve on riippuvaista tästä jaksoittaisesta harjoittelu- ja kilpailusyklistä ja se vaihtelee harjoitussuunnitelman aikana suhteessa harjoitusmäärään ja tehon muutoksiin. (Thomas ym. 2016) Harjoittelun jaksottaminen voi edellyttää myös energiansaannin jaksottamista suorituskyyllisten tavoitteiden saavuttamiseksi (Loucks 2011). Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan tätä jaksotusta erityisesti makrojaksossa, harjoituskauden ja kilpailukauden välillä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia energiansaataavuutta ja lepoaineenvaihduntaa harjoituskauden eri vaiheissa, peruskuntokaudella ja kilpailukaudella, kansallisen ja kansainvälisen tason naiskestävyysurheilijoilla. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, onko ruokapäiväkirjojen ja lepoaineenvaihdunnan välillä yhteyttä tarkasteltaessa energiansaataavuutta.

2 ENERGIANSAAATAVUUS

Energiansaatavuus (EA, energy availability) tarkoittaa energian määrää, joka kehon toimintojen suorittamiseen jää jäljelle, kun päivittäisestä energiansaannista (EI, energy intake) on vähennetty harjoittelun aiheuttama energiankulutus (EEE, exercise energy expenditure) (Loucks ym. 2011; Loucks 2014, 73–74; Thomas ym. 2016). Energiansaatavuus suhteutetaan tyypillisesti kehon rasvattomaan massaan (FFM, fat free mass) (Thomas ym. 2016). Harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen jälkeen jäljelle jäävä ravinnosta saatu energia käytetään kehon muihin aineenvaihduntatoimintoihin, joten energiansaatavuus on edellytys kehon fysiologisille toiminnoille (Loucks ym. 2011). Kuvassa 1 on esitetty esimerkki 60 kg painavan henkilön energiansaatavuudesta ja harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen vaikutuksesta siihen.

$EA = EI - EEE \text{ kcal/kg FFM/vrk}$ (Loucks 2014, 73; Thomas ym. 2016).



KUVA 1. Esimerkki energiansaatavuudesta 60 kg painavalla henkilöllä, EA = energiansaatavuus, FFM = rasvaton massa (Mukaiilu Heikura 2021, 18)

Täydelliseen ravitsemuksen arviointiin tulisi ihanteellisessa tilanteessa sisältyä ruokavalion arviointi, antropometriset mittaukset, kehonkoostumuksen mittaukset, hematologiset, biokemialliset sekä kliiniset tutkimukset (Magkos & Yannakoulia 2003). Tämä on kuitenkin työlästä ja aikaa vievää, minkä takia energiansaataavuuden ja ravitsemuksen arviointiin on kehitetty erilaisia menetelmiä. Yleisimmät menetelmät voidaan luokitella retrospektisiin ja prospektiivisiin menetelmiin. Retrospektiset menetelmät, kuten ruoankäyttökyselyt keräävät tietoa äskettäin tai aiemmin syödyistä ruuista ja ovat riippuvaisia tutkittavan muistista ja rehellisyydestä. Ruokapäiväkirjat ja ruokien raportointi seuraavat sen hetkistä ruoan kulutusta, ja ovat riippuvaisia tutkittavan motivaatiosta toteuttaa ja noudattaa tavanomaista ruokailua sekä raportointia. (Magkos & Yannakoulia 2003) Ruokapäiväkirja on käytetty mittari energiansaataavuuden ja ravintoaineiden saannin mittaamiseen, sillä se on suhteellisen halpa ja helppo menetelmä (Heikura 2021, 31; Manner 2021, 622). Ruokapäiväkirjoja ja ravitsemuksen raportointia voidaan toteuttaa hieman eri tyyleillä, joista tyypillisimpiä ovat ruoan punnitseminen tai annoskokojen arvioiminen. Kolmen päivän ruokapäiväkirjaraportointia pidetään vähimmäismääränä, jolla voidaan osoittaa tutkittavan tyypillistä ruokailua. Useampi raportointipäivä lisää raportoidun tiedon luotettavuutta, erityisesti tarkasteltaessa yksilöiden ravitsemusta. (Magkos & Yannakoulia 2003) Urheilijoilla energiansaataavuuden määrittäminen toteutetaan tyypillisesti 3–7 päivän kestoista ruokapäiväkirjoista (Magkos & Yannakoulia 2003; Thomas ym. 2016) ja 24 tunnin tai pidemmän aikavälin ruoankäyttökyselyistä (Thomas ym. 2016).

Naisilla optimaalisen energiansaataavuuden raja-arvon arvio on 45 kilokaloria kehon rasvatonta painokiloa kohden vuorokaudessa (kcal/kg FFM/vrk) (Heikura 2021, 17; Melin ym. 2019; Thomas ym. 2016). Kun energiansaataavuus on 30–45 kcal/kg FFM/vrk, puhutaan alentuneesta tai subkliinisestä energiansaataavuudesta (Melin ym. 2019; Schofield ym. 2019). Naisilla alle 30 kcal/kg FFM/vrk energiansaataavuus kuvaa matalaa energiansaataavuutta (LEA, low energy availability) (Heikura 2021, 17; Melin ym. 2019; Thomas ym. 2016). Optimaalisen energiansaataavuuden on havaittu liittyvän energiatasapainoon ja optimaaliseen terveyteen, kun taas matalan energiansaataavuuden on havaittu liittyvän useiden kehon toimintojen heikkenemiseen (Melin ym. 2019, Thomas ym. 2016). Energiansaataavuuden raja-arvot ja vaikutukset terveyteen sekä urheilijan kehittymiseen on koottu kuvaan 2.

> 45 kcal/kg/FFM/vrk

30-45 kcal/kg/FFM/vrk

< 30 kcal/kg/FFM/vrk

Optimaalinen energiansaatavuus	Subkliininen energiansaatavuus	Matala energiansaatavuus
Riittävä energiansaanti optimaalisten elintoimintojen ja terveyden ylläpitoon sekä urheilijan suorituskyvyn kehittämiseen	Riittävä energiansaanti lyhyellä aikavälillä turvallisen kilpailukuntoon tähtäävään painon pudotukseen	Kehon toimintojen heikkeneminen, riskitekijä urheilijan kehitykselle ja terveydelle

KUVA 2. Energiansaatavuuden raja-arvot naisilla ja vaikutukset terveyteen sekä suorituskykyyn. (Mukailtu Heikura 2021, 17)

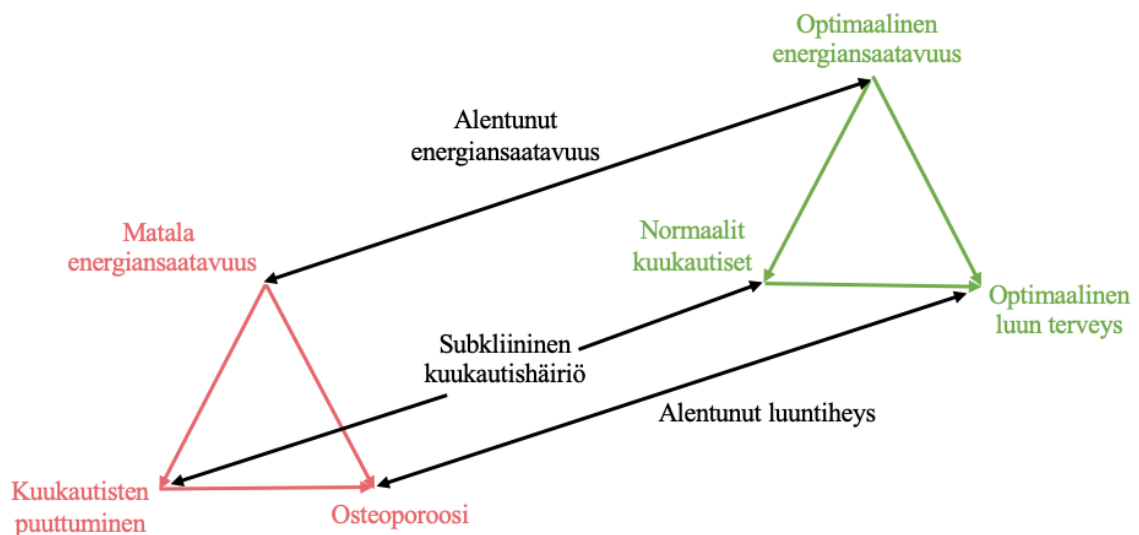
2.1 Matalan energiansaatavuuden vaikutukset

Matala energiansaatavuus on urheilijan energiansaannin ja harjoittelun kuluttaman energian epäsuhde, jolloin energiaa ei jää riittävästi elimistön terveydelle välttämättömille toiminnoille (Mountjoy ym. 2018). Matala energiansaatavuus viittaa vähimmäistasoon, jonka alle mentäessä elimistö alkaa säädellä muun muassa kudosten aineenvaihdunnan tasoa sovittaakseen käytettävissä olevan energian määrän sitä eniten tarvitseviin toimintoihin (Heikura 2021, 19). Matala energiansaatavuus on riskitekijä urheilijan terveydelle ja kehitykselle, joten optimaalinen energiansaatavuus on tärkeää terveyden ja suorituskyvyn ylläpitämiseksi (Heikura 2021, 19; Mountjoy ym. 2018).

Matala energiansaatavuus voi johtua riittämättömästä energiansaannista, korkeasta energiankulutuksesta tai näiden molempien yhdistelmästä, sekä olla tahatonta tai tahallista (Melin ym. 2015a; Thomas ym. 2016). Liian vähäinen energiansaatavuus voi johtua syömishäiriöstä ja niihin liittyvistä kliinisistä mielenterveysongelmista. Matala energiansaatavuus voi olla seurausta myös vääränlaisesta kehonkoostumuksen muokkaamisesta. Tämä voi olla tarkoituksellista, mutta heikosti toteutettua, jolloin kehonkoostumuksen muokkaamiseen voi liittyä häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä, kuten paastoja, laihdutusvalmisteiden käyttöä tai oksentelua. Alhainen energiansaatavuus voi johtua myös tahattomasta energiantarpeen täyttämättä jättämisestä harjoittelusta aiheutuvan suuren energiankulutuksen johdosta. (Loucks ym. 2011; Thomas ym. 2016)

Matala energiansaataavuus johtaa negatiiviseen energiatasapainoon ja sen takia ensin painon laskuun, koska kehon energiavarastot reagoivat sen energiantarpeeseen. Pitkällä aikavälillä matala energiansaataavuus aiheuttaa fysiologisten toimintojen ja aineenvaihdunnan mukautumista kokonaisenergiankulutuksen vähentämiseksi, minkä johdosta urheilijan paino ja kehon rasvatasot voivat pysyä vakaina, mutta fysiologiset toiminnot heikkenevät. (Melin ym. 2019) Tästä syystä matalaa energiansaataavuutta ei voida määrittää energiatasapainon avulla, sillä fysiologisten toimintojen heikkeneminen voi johtaa energiatasapainoon kokonaisenergiankulutuksen laskiessa alhaisesta energiansaataavuudesta johtuen (De Souza ym. 2014).

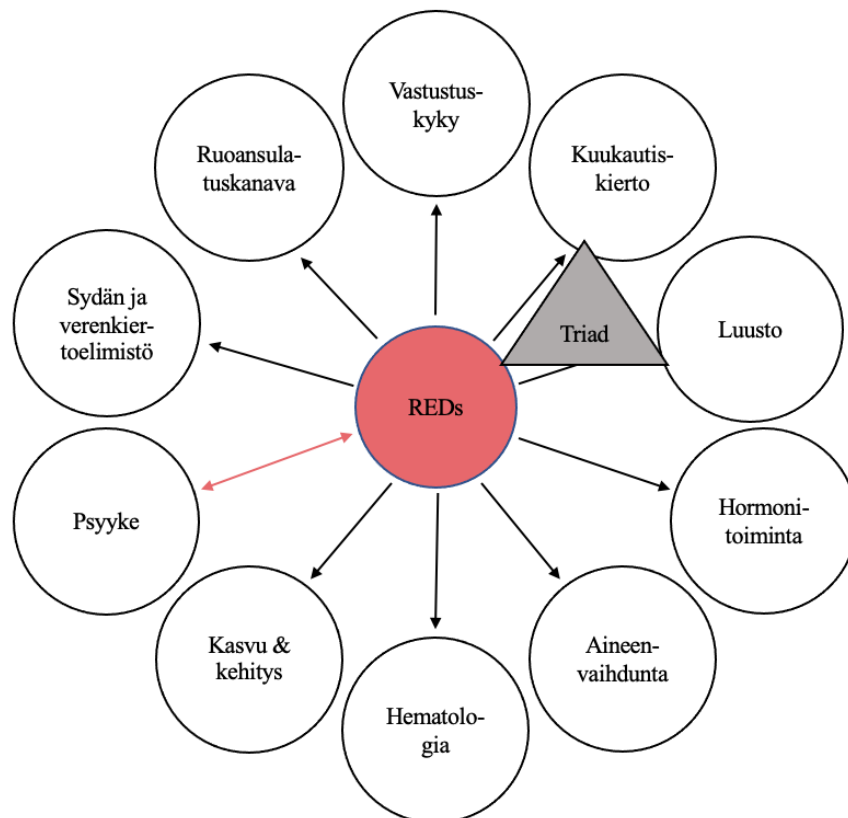
Aiemmin matala energiansaataavuus ja siitä seuraavat vaikutukset on liitetty erityisesti naisurheilijoihin, ja ilmiötä on kutsuttu naisurheilijan oireyhtymäksi (the female athlete triad) (kuva 3) (Heikura 2021, 19; Mountjoy ym. 2014). Tämän mukaisesti naisurheilijoiden yleisimmät matalasta energiansaataavuudesta aiheutuvat terveydelliset vaikutukset ovat kuukautiskierron häiriöt ja luuston mineraalitiheyden aleneminen. Matala energiansaataavuus on naisurheilijan oireyhtymän keskeisin tekijä, ja muut oireet ovat seurausta siitä. (Nattiv ym. 2007)



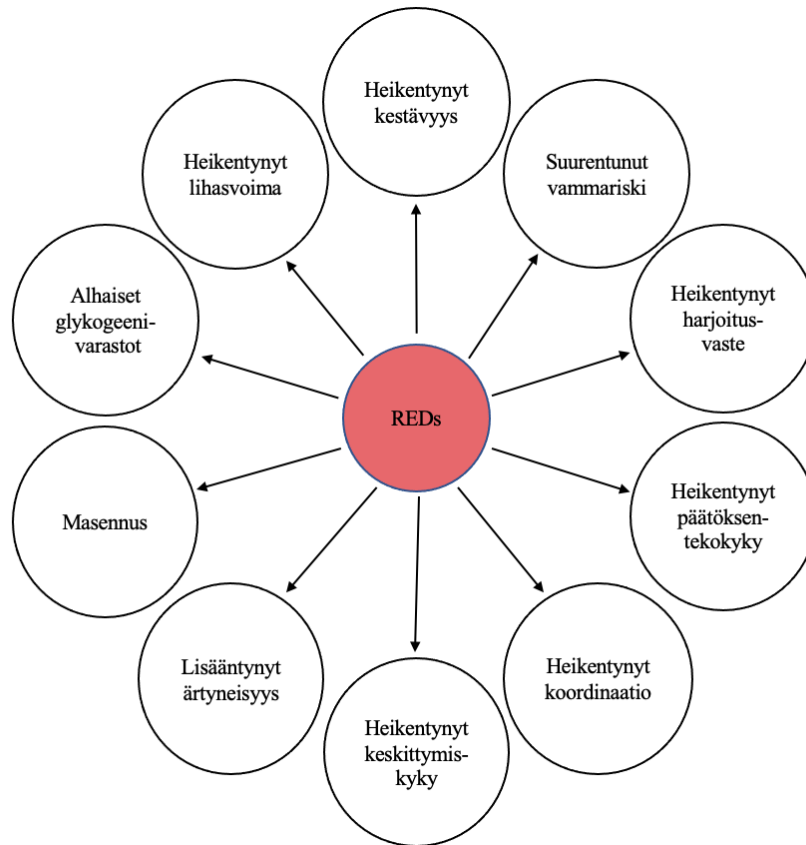
KUVA 3. Naisurheilijan oireyhtymä (the female athlete triad) (Mukailtu Heikura 2021, 20; Nattiv ym. 2007).

On kuitenkin havaittu, että energiansaannin vähäisyys suhteessa elimistön tasapainotilan, terveyden, kasvun sekä harjoittelun vaatimaan energiankulutukseen ei ole ainoastaan

energiansaataavuuden, kuukautiskierron ja luuston terveyden kokonaisuus, vaan laajempi suhteellisesta energiavajeesta johtuva oireyhtymä, joka vaikuttaa moniin fysiologisiin toimintoihin. Suhteellinen energiavaje vaikuttaa myös miehiin, minkä takia kehittyi uusi käsite kuvaamaan oireyhtymää, josta aiemmin puhuttiin naisurheilijoiden oireyhtymänä. (Mountjoy ym. 2014) Nykyään ilmiöstä käytetään useammin käsitettä ”suhteellinen energiavaje urheilussa” (relative energy deficiency in sport, REDs). REDs viittaa matalasta energiansaataavuudesta aiheutuviin oireisiin ja heikentyneeseen fysiologiseen toimintaan, mukaan lukien aineenvaihdunta, kuukautiskierto, luuston terveys, immunitetti, proteiinisynteesi, sydän- ja verisuoniterveys sekä psyykinen terveys. Suhteellinen energiavaje muun muassa heikentää palautumista sekä harjoittelun tuloksellisuutta, altistaa sairastumisille, loukkaantumisille ja ylipainotilalle. Suhteellinen energiavaje urheilussa kattaa kymmenen terveydellistä oiretta (kuva 4) ja kymmenen suorituskyvyläistä oiretta (kuva 5). (Heikura 2021, 19; Mountjoy ym. 2014)



KUVA 4. Mahdolliset suhteellisen energiavajeen (REDs) aiheuttamat terveydelliset seuraukset urheilussa (Mukailtu Heikura 2021, 19; Mountjoy ym. 2018).



KUVA 5. Mahdolliset suhteellisen energiavajeen (REDs) aiheuttamat suorituskyvylliset seuraukset urheilussa (Mukaiutu Heikura 2021, 19; Mountjoy ym. 2018).

Pitkäkestoinen matala energiansaataavuus voi heikentää suorituskykyä epäsuorien vaikutusten kautta. Tällaisia suorituskykyä heikentäviä vaikutuksia ovat esimerkiksi palautumisen heikentyminen, optimaalisen lihasmassan väheneminen ja mahdollinen harjoittelun keskeytyminen lisääntyneen väsymyksen, loukkaantumisten tai sairastumisten johdosta. (Melin ym. 2019; Thomas ym. 2016) Alhaisen energiansaataavuuden on nimittäin havaittu heikentävän myös immuunijärjestelmän toimintaa, erityisesti solunsisäisiä patogeenejä kuten viruksia vastaan (Loucks ym. 2011).

2.2 Energiansaataavuus naiskestävyysurheilijoilla

Urheilijoilla suuri osa päivän energiankulutuksesta tapahtuu urheilusuorituksissa. Urheilun aiheuttamaan energiankulutukseen vaikuttaa sen teho, kesto ja urheilijan paino. Erityisesti lajeissa, kuten juoksu, joissa kannatellaan omaa painoa, suurempi kehon paino lisää liikunnan aiheuttamaa energiankulutusta. (McArdle ym. 2015, 199, 202) Alhainen kehonpaino sekä

rasvamassa edistävät liikkumisen taloudellisuutta (Burke ym. 2007). Kestävyysurheilijoille on hyötyä alhaisesta kehon massasta ja kehon rasvaprosentista, jotta liikkeen tuottaminen olisi mahdollisimman taloudellista sekä painon ja pinta-alan suhde lämmön haihduttamisen kannalta edullinen (Thomas ym. 2016).

Alhaisen energiansaataavuuden sekä syömishäiriöiden tai häiriintyneen syömiskäyttäytymisen esiintyvyys on suurta urheilijoilla, erityisesti keski- ja pitkän matkan juoksijoilla sekä lisäksi tyypillisempää naisurheilijoilla. Juoksijoilla tehdyissä tutkimuksissa energiansaataavuus on ollut samalla tasolla tai alhaisempaa juoksijoilla verrattuna ei-urheilijoihin, erityisesti naisten kohdalla. (Melin ym. 2019) Kehonkoostumuksen muokkaus kilpailuja ja huippusuorituskykyä varten on naisilla usein miehiä riskialttiimpaa, sillä kilpailuja varten tavoiteltava paino ja kehonkoostumus eroavat enemmän kehon luonnollisista ominaisuuksista (Burke ym. 2007). On havaittu, että naisurheilijat voivat usein syödä liian vähän myös urheiluun liittymättömistä syistä, pääasiassa ulkonäöllisistä syistä (Loucks ym. 2011). Taulukossa 1 on esiteltyä matalan ja alentuneen energiansaataavuuden esiintyvyyttä naiskestävyysurheilijoilla.

TAULUKKO 1. Matalan (LEA) ja alentuneen energiansaataavuuden (EA) esiintyvyys naiskestävyysurheilijoilla.

Tutkimus	n	Urheilulaji	% LEA	% EA < 45 kcal/kg FFM/vrk	Keskimääräinen energiansaataavuus (kcal/kg FFM/vrk)
Melin ym. (2015a)	40	kestävyysurheilu	20	63	39,6 ± 4,3
Day ym. (2015)	25	kestävyysjuoksu, pikajuoksu, aitajuoksu	52	92	26,8 ± 16,2 (kestävyysjuoksijat)
Melin ym. (2015b)	25	keski- ja pitkän matkan juoksu, triathlon, suunnistus	12	56	42,5 ± 12,1
Muia ym. (2015)	61	keski- ja pitkän matkan (> 1500) juoksu	18	76	36,5 ± 4,5
Kinoshita ym. (2021)	18	kestävyysjuoksu	33		35,0 ± 15,0
Beermann, B. ym. (2020)	17	kestävyysjuoksu	43	81	32,8 ± 16,1
Goodwin, Y. ym. (2014)	25	keski- ja pitkän matkan juoksu	56	92	28,1 ± 11,5

Kestävyysslajeissa yleinen syy alhaiselle energiansaatavuudelle on pitkäkestoisen harjoittelun aiheuttama suuri energiankulutus, ja että energiansaantia ei lisätä riittävästi harjoittelussa kulutetun energian kompensoimiseksi (Loucks 2011, Heikura 2021, 21). Ihmisillä ei ole voimakasta taipumusta pyrkiä sovittamaan energiansaantia fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen, mikä tuo haasteita urheilijoiden riittävään ravitsemukseen. Liikunnan aiheuttama energiavaje ei lisää näläntunnetta samoin kuin syömisen rajoittamisen aiheuttava energiavaje. (Loucks 2014, 72, 83–84) Pitkäkestoista harjoittelua toteuttavilla urheilijoilla, kuten kestävyysurheilijoilla, näläntunne on epäluotettava energiantarpeen mittari, sillä pitkäkestoinen liikunta ei lisää ruokahalua riittävästi suhteessa energiantarpeeseen (Loucks ym. 2011). Kestävyysharjoittelun on jopa havaittu heikentävän ruokahalua sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä ruokahalua säätelevien hormonien kautta. Todennäköisesti syynä on kestävyysharjoittelun seurauksena ruokahalua lisäävän greliini-hormonin erityksen väheneminen ja kylläisyyttä lisäävän eli ruokahalua vähentävän peptidi YY:n erityksen lisääntyminen. (Ilander 2014a, 26; Loucks 2014, 84) Tästä syystä urheilijoiden tulisi syödä suunnitellusti ja kulutusta vastaavasti ruokahalun ja näläntunteen sijaan (Loucks 2014, 72).

2.3 Energiansaatavuus harjoituskauden eri vaiheissa

Kestävyysurheilijan harjoittelu muodostuu erilaisista kausista, joiden aikana harjoittelun määrä ja intensiteetti vaihtelevat (Burke ym. 2007; Stellingwerff ym. 2007). Tätä harjoittelun määrän, tehon, palautumisjaksojen ja harjoitusten säätelyä tietyn harjoitustuloksen aikaansaamiseksi tietyinä ajankohtana kutsutaan harjoittelun periodisaatioksi eli jaksottamiseksi (Naclerio ym. 2013). Harjoittelun jaksottaminen voidaan jakaa makro- (kuukausista vuosiin), meso- (viikoista kuukausiin) ja mikrojaksoihin (päivistä viikkoihin) (Naclerio ym. 2013; Stellingwerff ym. 2019). Makrojakso kattaa yleensä yhden kilpailukauden ja se jaetaan tyypillisesti harjoituskauteen, kilpailukauteen ja siirtymäkauteen (Burke ym. 2007; Heydenreich ym. 2017). Harjoituskausi voidaan jakaa mesojaksoihin: peruskuntokauteen ja kilpailuun valmistavaan kauteen (Naclerio ym. 2013). Harjoittelun jaksottaminen toimii pohjana ravitsemuksen suunnittelulle suorituskyvyn kehityksen tukemiseksi (Stellingwerff ym. 2019).

Erilaiset kehon ominaisuudet edistävät suorituskykyä eri urheilulajeissa. Kehon massaan ja kehonkoostumukseen voidaan antropometrisista ominaisuuksista vaikuttaa eniten. (Thomas ym. 2016) Painonpudotus voi olla useissa lajeissa hyödyllistä lyhyellä aikavälillä suorituskyvyn parantamiseksi, erityisesti kilpailukauden lähellä (Melin ym. 2019). Tietyn

kehonkoostumuksen saavuttaminen optimaalisen suorituskyvyn tavoittelemiseksi on huippu-urheilussa tärkeä, mutta haastava tavoite (Thomas ym. 2016). Tietyn kehonkoostumuksen tavoittelemisen tulee toteuttaa yksilöllisesti ja jaksotetusti, sillä pitkällä aikavälillä matala energiansaataavuus vaikuttaa sekä terveyteen että suorituskykyyn niitä heikentävästi, joten optimaalisen energiansaataavuuden ylläpitäminen on tärkeää (Melin ym. 2019; Thomas ym. 2016).

Ravitsemuksen jaksottamiseen liittyvä energiansaannin rajoittaminen tulisi tehdä suunnitelmallisesti sekä säilyttäen riittävä energiansaataavuuden taso, jotta voidaan minimoida suhteellisen energiavajeen aiheuttamien lyhyt- ja pitkäaikaisten seurauksien haitalliset vaikutukset harjoittelun laatuun ja suorituskykyyn (Stellingwerff ym. 2019). Stellingwerff (2018) määritteli kehon koostumuksen periodisaation ”energiansaannin ja energiankulutuksen suunnitelmalliseksi muokkaamiseksi eri harjoituskausien välillä, jotta saavutetaan suorituskyvyllä optimaalinen tavoiteltu kehonkoostumus minimoiden samalla riskit terveydelle”.

Harjoituskauden peruskuntokaudella kestävyysurheilijat harjoittelevat tyypillisesti määrällisesti paljon ja kohtalaisella intensiteetillä, kestävyuden ja ravinnon tehokkaamman käytön kehittämiseksi (Heydenreich ym. 2017). Peruskuntokaudella energian, hiilihydraattien ja rasvan tarve on suurimmillaan. Energiansaannin tulee olla riittävän suurta ja energiansaataavuuden olisi hyvä olla > 45 kcal/kg FFM/vrk, jotta fyysisten ominaisuuksien kehittymiselle olisi mahdollisimman hyvät edellytykset. (Ilander 2014b, 146)

Kilpailuun valmistavalla kaudella harjoitusmäärät vähenevät, mutta harjoitusten teho lisääntyy. Kilpailuun valmistava kausi kehittää huippusuorituskykyä ja valmistaa kilpailukauteen, jolla harjoitusten teho on korkeinta (Heydenreich ym. 2017). Kilpailuun valmistavalla kaudella energiantarve on edelleen suurta, mutta moni urheilija pyrkii pudottamaan hieman painoa kilpailukauden alkuun mennessä (Ilander 2014b, 147). Tarvittava painonpudotus tulisi toteuttaa maksimoimalla rasvamassan väheneminen säilyttäen lihasmassan määrä sekä terveydellinen tasapaino. Nämä tavoitteet voidaan saavuttaa lievällä energiavajeella sekä suhteessa suuremmalla proteiinin saannilla. (Thomas ym. 2016) Koska liiallinen energian tai hiilihydraatin saannin rajoittaminen heikentää suorituskykyä ja immuunijärjestelmän toimintaa, tulisi kehonkoostumuksen muokkaaminen saavuttaa ennen kilpailukauden alkua (Stellingwerff ym. 2007). Rasvakudoksen vähentämiseksi energiansaataavuutta tulee vähentää

peruskuntokauteen verrattuna ja sopiva energiansaataavuus tämän tavoitteen saavuttamiseksi on noin 35 kcal/kg FFM/vrk. Energiansaannin vähentäminen tulisi tapahtua pääasiassa rasvan saantia vähentämällä. Proteiinin saantia ei tule pienentää peruskuntokauteen verrattuna. Samaan aikaan hiilihydraattien saanti tulisi keskittää harjoittelun läheisyyteen, jotta harjoittelu ja palautuminen pysyvät tehokkaina. (Ilander 2014b, 147)

Kilpailukaudella tavoitetaso energiansaannin suhteen on harjoituskautta pienempi, koska harjoitusmäärät ovat kilpailukaudella tyypillisesti pienemmät eikä paino saisi päästä nousemaan (Mero 2016a, 177–178). Ruokahalu ja sen avulla tapahtuva energiansaannin säätely ei mukaudu täysin alentuneeseen energiankulutukseen, joten urheilijoiden on tietoisesti suoritettava energiansaannin vähentäminen ihanteellisen kehonkoostumuksen säilyttämiseksi (Stellingwerff ym. 2007). Kokonaisenergian väheneminen tapahtuu erityisesti hiilihydraattien, mutta myös rasvojen kohdalta (Mero 2016a, 177–178). Rasvansaannin tulee kuitenkin säilyä > 20 % energiansaannista myös kilpailukaudella (Ilander 2014b, 147). Proteiinin määrän vähentäminen ei saisi olla suurta lihasten toimintakyvyn ylläpitämiseksi, sillä harjoittelun ja kilpailujen intensiteetti on korkea ja vaatii elimistön palautumista nopeasti (Mero 2016a, 177–178). Kilpailukaudella kokonaisenergiansaanti vähenee sitä mukaan, kun kokonaiskuormitus vähenee. Pitkäaikaista kestävyyttä vaativissa lajeissa energiansaannin vähentäminen on vähäisempää. (Mero 2016b, 204–205)

Pitkän matkan kestävyysurheilijoiden ja korkean harjoituskuormituksen omaavien tulisi keskittyä riittävään energiansaataavuuteen ympäri vuoden sekä eri harjoituskausien. Kun taas keskimatkojen kestävyysurheilijat ja pienemmän harjoituskuormituksen omaavat voivat hyötyä korkeammasta energiansaataavuudesta kovatehoisten harjoituskausien tai harjoitusten ympärillä ja painonnousun minimoimisesta näiden harjoitusjaksojen ulkopuolella kohdennetulla hiilihydraattien rajoittamisella. (Melin ym. 2019)

Energiankulutus sekä energiansaanti voivat kuitenkin käytännössä poiketa tällaisesta Meron (2016a, 177–178) mukaisesta suunnitelmallisesta energiansaataavuuden optimoimisesta. Heydenreichin ym. (2017) review-artikkelissa tarkasteltiin naiskestävyysurheilijoiden kokonaisenergiankulutusta, energiansaantia ja kehonkoostumusta harjoituskauden eri vaiheissa. Heydenreichin ym. (2017) mukaan energiankulutus oli Meron (2016a, 177–178) mukaisista odotuksista poiketen korkeinta kilpailukaudella. Energiankulutus oli myös energiansaantia korkeampaa kauden kaikissa vaiheissa. Kokonaisenergiankulutuksen

muutokset kauden vaihdellessa ei johtanut naiskestävyysurheilijoiden energiansaannin säätelyyn.

Stellingwerffin (2018) tapaustutkimuksessa tutkittiin olympiatason keskimatkan naisjuoksijan yhdeksän vuoden uran mittaista ravitsemusta ja kehon koostumusta. Kyseisen urheilijan kohdalla keskityttiin erityisesti optimaaliseen energiansaataavuuteen sekä painon vakauteen, joka oli kehon rasvaprosentin kanssa hieman korkeampi yleiseen kilpailuihin valmistautumisvaiheeseen verrattuna. Optimaalinen kehon koostumus ja paino oli tavoitteena saavuttaa vasta kilpailukaudella kohtuullisella kalorirajoituksella (-300 kcal/vrk) vähentämällä välipaloja, energiatiheitä sekä hiilihydraattipitoisia ruokia helpompina harjoituspäivinä. Tapaustutkimuksesta selvisi, että optimaalinen kehonkoostumus on mahdollista saavuttaa kilpailukaudella ilman pitkäaikaista hormonaalisen tai luuston terveyden heikkenemistä. (Stellingwerff 2018) Myös Thomaksen ym. (2016) mukaan kohtuullisella kalorirajoituksella ja maltillisella painonpudotuksella on etuja, sillä Thomaksen ym. (2016) mukaan rasvattoman massan ja suorituskyvyn on havaittu säilyvän paremmin urheilijoilla, jotka kohdistivat painonpudotuksen alle 1 % viikossa.

3 LEPOAINEENVAIHDUNTA

Lepoaineenvaihdunta (RMR, resting metabolic rate) kuvaa aineenvaihdunnan tasoa ja vähimmäismäärää energiaa, jonka keho tarvitsee peruselintoimintojen suorittamiseen (Hall & Hall 2021, 897; Schofield ym. 2019). Tyypillisesti normaalilla terveellä yksilöllä lepoaineenvaihdunta vastaa noin 60–80 % kokonaisenergiankulutuksesta (McArdle ym. 2015, 192; Thomas ym. 2016). Kestävyysurheilijoilla fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutuksen osuus voi kuitenkin olla jopa yli puolet kokonaisenergiankulutuksesta ja lepoaineenvaihdunnan osuus vain 38–47 % (Thomas ym. 2016).

Lepoaineenvaihdunnan mittaamisen monimutkaisuuden takia, on olemassa ennusteyhtälöitä, joiden avulla voidaan määrittää oletettu lepoaineenvaihdunta. Nykyään yleisimmin käytetty on Harris-Benedictin (1919) kaava. Eri lepoaineenvaihdunnan ennusteyhtälöt eroavat lepoaineenvaihdunnan laskemiseen käytetyiltä komponenteilta, kuten kehonpaino, rasvaton massa, pituus ja ikä. Cunninghamin (1980) kaavassa hyödynnetään vain rasvatonta massaa, minkä takia sitä pidetään soveltuvana myös urheilijoille. (Schofield ym. 2019)

Mitatun ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan suhteesta saadaan määritettyä suhteellinen lepoaineenvaihdunta. Suhteellisen lepoaineenvaihdunnan normaalina vaihteluvälinä pidetään 0,9–1,1. (Staal ym. 2018) Urheilijoilla on tyypillisesti harjoittelemattomia suurempi rasvattoman massan osuus, minkä takia mitatun ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan välinen suhteelliseen lepoaineenvaihduntaan vaikuttava ero voi olla suurempi (Oshima ym. 2011). Kehonkoostumuksen vaikutuksia lepoaineenvaihduntaan käsitellään tarkemmin myöhemmin tässä luvussa.

3.1 Lepoaineenvaihdunnan määrittäminen epäsuoralla kalorimetrialla

Lepoaineenvaihduntaa voidaan mitata hyvin tarkasti hapenkulutuksen avulla, koska yli 95 % kehon kuluttamasta energiasta johtuu hapen ja ravintoaineiden välisistä reaktioista. Hapen avulla aineenvaihdunnan määrittämistä kutsutaan epäsuoraksi kalorimetriaksi, ja se kuvastaa hapen energiaekvivalenttia eli paljonko energiaa vapautuu kulutettua happilitraa kohti. (Hall & Hall 2021, 897) Epäsuora kalorimetria on yksi herkimmistä ja tarkimmista kehoon kajoamattomista lepoaineenvaihdunnan mittaustekniikoista. Epäsuora kalorimetria mittaa

epäsuorasti syntyvää lämpöä mittaamalla kulutetun hapen (VO₂) ja tuotetun hiilidioksidin (VCO₂) määrää. (Schofield ym. 2019)

Monet eri tekijät voivat vaikuttaa lepoaineenvaihdunnan mittaamiseen epäsuoralla kalorimetrialla (Compher ym. 2006). Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi käytetyt mittausvälineet, mittaustilanteen vakiointi, biologinen ja hormonaalinen vaihtelu sekä kehon koostumuksen mittaus (Schofield ym. 2019). Lepoaineenvaihduntatuloksissa näyttäisi olevan vain vähän vaihtelua käytetyn mittauslaitteen mukaan, kun laitetta on käytetty huolellisesti. Huolimatta laitteesta, on tärkeää estää ilman vuotaminen ulos, mikä johtaa luonnottoman alhaisiin lepoaineenvaihdunnan arvoihin. (Compher ym. 2006) Mittaustilanteen vakiointiin liittyviä tekijöitä ovat muun muassa fyysisen aktiivisuuden ja ravitsemuksen osuus ennen mittausta (Schofield ym. 2019). Ruoka, alkoholi, kofeiini ja nikotiini vaikuttavat lepoaineenvaihduntaan vielä tuntien jälkeen niiden nauttimisesta (Compher ym. 2006). Näistä syistä mittaustilanne tulisi vakioida, jotta saadaan luotettavia ja päteviä tuloksia lepoaineenvaihdunnasta (Schofield ym. 2019).

Saatavilla olevat tiedot ravinnosta, alkoholista, kofeiinista, nikotiinista ja liikunnasta pidättäytymisestä ennen lepoaineenvaihdunnan mittaamista epäsuoralla kalorimetrialla ovat osittain rajallisia (Compher ym. 2006; Fullmer ym. 2015), minkä takia näistä on annettu hieman vaihtelevia suosituksia. Compherin ym. (2006) mukaan tutkittavan tulisi olla syömättä vähintään 6 tuntia ennen lepoaineenvaihdunnan mittausta, kun taas Fullmerin ym. (2015) mukaan paaston keston tulisi olla vähintään 7 tuntia, joka riittää noin 1300 kcal kulutukseen ja ravinnon termisen vaikutuksen laskuun. Hallin ja Hallin (2021, 897) mukaan lepoaineenvaihdunnan mittaamista varten epäsuoran kalorimetrian avulla tutkittavan tulisi kuitenkin olla syömättä jopa 12 tuntia ennen mittausta. Urheilijoilla lepoaineenvaihdunnan mittaus suoritetaan kuitenkin tyypillisesti yön yli paaston jälkeen (Schofield ym. 2019).

Alkoholin ja nikotiinin käytöstä tulisi pidättäytyä kaksi tuntia ennen lepoaineenvaihdunnan mittausta (Compher ym. 2006). Kofeiinin tiedetään nostavan lepoaineenvaihduntaa, mutta vaikutuksen kesto ja suuruus ovat epäselviä ja todennäköisesti annoksesta riippuvaisia (Fullmer ym. 2015). Fullmerin ym. (2015) mukaan kofeiinista tulisi pidättäytyä 4 tuntia ennen lepoaineenvaihduntamittausta. Compherin ym. (2006) mukaan kofeiinin vaikutus on laskenut enintään 12 tunnin aikana, mutta laskee lähelle perustasoa jo 3 tunnin aikana.

Fullmerin ym. (2015) mukaan tutkittavan tulisi levätä 30 minuuttia ennen lepoaineenvaihdunnan mittausta. Hallin ja Hallin (2021) sekä Compherin ym. (2006) mukaan 20 minuutin lepo ennen mittausta on riittävä. Kohtalaista liikuntaa tulisi välttää 2 tuntia ennen mittausta ja raskasta liikuntaa 14 tuntia ennen mittausta (Compher ym. 2006). Mittauksen luotettavuuden lisäämiseksi mittaustilanteessa on varmistettava ihanteellinen huonelämpötila (20°C-27°C) ja -kosteus sekä minimoida fyysistä ja psyykkistä jännitystä aiheuttavat tekijät (Hall & Hall 2021, 897; Schofield ym. 2019). Mittaus tulisi suorittaa mieluiten makuuasennossa (Compher ym. 2006).

Lepoaineenvaihdunta ilmaistaan yleensä yhden vuorokauden energiankulutuksena. Lepoaineenvaihdunnan määrittämiseen ei vaadita kuitenkaan vuorokauden kestoista mittausta, vaan lepoaineenvaihdunta voidaan määrittää mittausjaksosta, jonka aikana saavutetaan steady-state tila. Luotettava lepoaineenvaihduntamittaus voidaan toteuttaa 10 minuutin kestoisena mittauksena, josta jätetään huomioimatta ensimmäiset 5 minuuttia ja steady-state tilassa hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton variaatiokertoimet ovat $\leq 10\%$. (Compher ym. 2006)

3.2 Lepoaineenvaihduntaan vaikuttavat tekijät

Lepoaineenvaihduntaan vaikuttavat muun muassa adaptiivinen termogeneesi (Rosenbaum & Leibel 2016), kehonkoostumus, fyysinen aktiivisuus (McArdle ym. 2015, 192) sekä energiansaataavuus (Schofield ym. 2019). Muita lepoaineenvaihduntaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa ikä, sukupuoli, kehon koko, sekä hormonitoiminta (Oshima ym. 2011).

3.2.1 Adaptiivinen termogeneesi

Energiankulutuksen mukautumista energiansaantiin kutsutaan adaptiiviseksi termogeneesiksi (Ilander 2014a, 32). Liian vähäinen energiansaanti suhteessa energiantarpeeseen aiheuttaa adaptiivista termogeneesiä, jossa aineenvaihdunnan taso laskee (Rosenbaum & Leibel 2016). Adaptiivisen termogeneesin tarkoituksena on lisätä energiansaantia suhteessa energiankulutukseen ja hidastaa painon laskua tai edistää painon palautumista (Ilander 2014a, 32; Trexler ym. 2014). Keskushermoston säätelemät mekanismit säätelevät varastoidun energian, erityisesti rasvan määrää kehossa (Rosenbaum & Leibel 2010).

Usein adaptiivisen termogeneenin johdosta kokonaisenergiankulutus laskee enemmän suhteessa painon putoamiseen (Trexler ym. 2014). Yli 10 % painonpudotus vähentää päivittäistä energiankulutusta 20–25 %, mikä on 10–15 % enemmän kuin kehonkoostumuksen muutoksilla ennustettaisiin (Rosenbaum & Leibel 2010). Lepoaineenvaihdunnan on myös havaittu olevan painonpudotuksen jälkeen alhaisempi kuin laskennallinen lepoaineenvaihdunta saavutetussa painossa (Camps ym. 2013). On myös havaittu, että adaptiivinen termogeneesi ja sen aiheuttama energiankulutuksen lasku jatkuvat aktiivisen painonpudotusjakson jälkeen vielä jopa vuoden alhaista painoa ylläpitäneillä henkilöillä (Trexler ym. 2014). Myös Camps ym. (2013) havaitsivat, että adaptiivisen termogeneenin vaikutus säilyy lähes vuoden painon pudotuksen jälkeen, kun kehonpaino pysyy alle lähtöpainon. Liikunnan lisääminen ja esimerkiksi harjoitusohjelman yhdistäminen painonpudotukseen kuitenkin mahdollisesti pienentää adaptiivisen termogeneenin vaikutusta (Akbulut & Rakicioglu 2012). Akbulut ja Rakicioglu (2012) havaitsivat tutkimuksessaan lepoaineenvaihdunnan nousua tutkittavilla, jotka harrastivat liikuntaa säännöllisesti, vaikka heidän painonsa laski.

Painon noustessa adaptiivisen termogeneenin vaikutukset lepoaineenvaihduntaan ovat osittain epäselvät (Joosen & Westerterp 2006). Painon noustessa energiankulutuksen on havaittu ensin nousevan, mutta muutaman kuukauden jälkeen ei enää havaita muutoksia (Rosenbaum & Leibel 2010). Joosenin ja Westerterpin (2006) mukaan adaptiivisen termogeneenin vaikutus painon nousuun näkyy odotettua suurempana rasvan varastointina. Tämä osoittaa, että kehon vastustus rasvan kertymiselle on vähäisempää kuin rasvan vähenemiselle. Toisin sanoen lihominen ja rasvan kertyminen on helpompaa kuin laihtuminen. (Rosenbaum & Leibel 2010)

3.2.2 Kehonkoostumuksen vaikutus lepoaineenvaihduntaan

Lepoaineenvaihdunta koostuu suurelta osin kehon välttämättömistä elintoiminnoista, kuten keskushermoston, sydämen, munuaisten ja muiden elinten toiminnoista (Hall & Hall 2021, 897–898). Rasvaton massa on merkittävin lepoaineenvaihduntaan vaikuttava tekijä riippumatta kehon koosta (Oshima ym. 2011). Schofieldin ym. (2019) mukaan rasvattoman massan osuus lepoaineenvaihdunnasta on 60–70 %. Oshiman ym. (2011) mukaan rasvattoman massan osuus lepoaineenvaihdunnasta voi kuitenkin olla jopa 95 %.

Rasvattoman massan eri komponentit kuitenkin eroavat aineenvaihdunnan tasoiltaan. Esimerkiksi sisäelimestä aktiivisimpien maksan, aivojen, sydämen ja munuaisten päivittäiset

aineenvaihdunnan tasot ovat 200, 240, 440 ja 440 kcal/kg/vrk, kun taas rasvakudoksen aineenvaihdunnan taso on vain 4,5 kcal/kg/vrk. Lihaskudoksen aineenvaihdunnan taso on 13 kcal/kg/vrk, vaikka sitä pidetään tyypillisesti aineenvaihdunnallisesti aktiivisena. (Oshima ym. 2011) Oshiman ym. (2011) tutkimuksessa jäännösmassalla (residual mass) kuvattiin rasvan ja lihasten ulkopuolelle jäävää kehon massaa, josta oli erotettu myös luumassa. Eli jäännösmassa sisälsi sisäelimet ja kehon nesteet. Jäännösmassa on Oshiman ym. (2011) määrittelemistä neljästä elinkudos osa-alueesta (rasvamassa, luumassa, lihasmassa ja jäännösmassa) aineenvaihdunnallisesti aktiivisin aineenvaihdunnan tasoon 54 kcal/kg/vrk. Oshima ym. (2011) esittivät, että jäännösmassan osuus koko lepoaineenvaihdunnasta olisi itsessään 71 %, joka on jopa enemmän kuin Schofieldin ym. (2019) mukaisen koko rasvattoman massan osuus lepoaineenvaihdunnasta.

Hallin ja Hallin (2021, 897–898) mukaan yksilöiden välinen vaihtelu lepoaineenvaihdunnassa johtuu pääasiassa eroista lihasmassan määrässä, mutta Oshiman ym. (2011) mukaan yksilöiden väliseen vaihteluun vaikuttaa suuresti myös jäännösmassan osuus. Lihasmassa vaikuttaa lepoaineenvaihduntaan 20–30 % (Hall & Hall 2021, 898; Schofield ym. 2019). Lihasmassan ja jäännösmassan yhteinen osuus lepoaineenvaihdunnasta on jopa 95 % (Oshima ym. 2011). Rasvattoman massan ja lihasmassan osuus lepoaineenvaihdunnasta selittää energiankulutuksen vaihtelua myös eri ikäisten ja sukupuolten välillä (Hall & Hall 2021, 898; McArdle ym. 2015, 193; Schofield ym. 2019). Schofieldin ym. (2019) mukaan rasvamassan osuus lepoaineenvaihdunnasta on 5–7 %, kun taas Oshiman ym. (2011) mukaan rasvakudoksen osuus lepoaineenvaihdunnasta on vain 3,2 %. Kehonpainon osuus lepoaineenvaihdunnasta on alle 1 % (Oshima ym. 2011).

3.2.3 Energiasaatavuuden vaikutus lepoaineenvaihduntaan

Pitkäaikaisen matalan energiansaatavuuden aikana urheilijoiden kehonpaino säilyy vakaana, mutta pitkäaikainen energiavaje aiheuttaa fysiologisten toimintojen mukautumista, kuten lepoaineenvaihdunnan alentumista (Melin ym. 2015a). Matalan energiansaatavuuden on todettu olevan yhteydessä alentuneeseen lepoaineenvaihduntaan keski- ja pitkän matkan urheilijoilla verrattuna urheilijoihin, joilla on riittävä energiansaanti (Melin ym. 2019). Kontrolloitujen laboratoriotutkimusten perusteella on havaittu, että matala energiansaatavuus aiheuttaa muun muassa aineenvaihduntahormonien häiriöitä (De Souza ym. 2014). Suhteellinen energiavaje laskee aineenvaihdunnan tasoa, sillä alhainen energiansaatavuus vähentää

kilpirauhashormonien, kuten T3 eli trijodityroniinin, sekä leptiinin tuotantoa, minkä seurauksena lepoenergiankulutus laskee (Heikura 2021, 26; Trexler ym. 2014).

Melin ym. (2015a) havaitsivat tutkimuksessaan aineenvaihdunnan mukautumista matalaan energiansaataavuuteen. 53 %:lla koehenkilöistä havaittiin alentunut lepoaineenvaihdunta (mitatun ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan suhde $< 0,9$). Mitattu lepoaineenvaihdunta oli 7 % ja laskennallinen lepoaineenvaihdunta 6 % alhaisempi matalan tai alentuneen energiansaataavuuden urheilijoilla verrattuna optimaalisen energiansaataavuuden urheilijoihin. Energiansaataavuuden ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä havaittiin myös positiivinen yhteys.

Kinoshitan ym. (2021) tutkimuksen tulokset mukailevat osittain Melinin ym. (2015a) tuloksia. Kinoshita ym. (2021) havaitsivat poikkileikkaustutkimuksessaan, että nuorilla naiskestävyysjuoksijoilla energiansaataavuuden ylittäessä optimaalisena pidetyn raja-arvon 45 kcal/kg FFM/vrk lepoaineenvaihdunta oli merkittävästi korkeampi kuin energiansaataavuuden jäädessä optimaalisen energiansaataavuuden raja-arvon alle. Eroa lepoaineenvaihdunnassa ei kuitenkaan havaittu verrattaessa energiansaataavuuksia matalan energiansaataavuuden raja-arvoa (30 kcal/kg FFM/vrk) tarkasteltaessa eikä energiansaataavuuden ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä havaittu merkitsevää yhteyttä.

Säännöllisen liikunnan on havaittu vaikuttavan lepoaineenvaihduntaan sitä ylläpitävästi tai jopa tehostavasti (Kinoshita ym. 2021, McArdle ym. 2015, 194). Deutzin ym. (2000) sekä Speakmanin ja Selmanin (2003) mukaan kaikissa tutkimuksissa ei ole kuitenkaan pystytty osoittamaan tätä säännöllisen liikunnan aiheuttamaa lepoaineenvaihdunnan tehostumista. Deutzin ym. (2000) mukaan on myös hieman epäselvää, hillitseekö vai tehostaako säännöllinen intensiivinen harjoittelu matalasta energiansaataavuudesta johtuvaa lepoaineenvaihdunnan laskua ja siihen liittyvää kehon rasvamassan lisääntymistä.

Lepoaineenvaihdunnan on monissa tutkimuksissa havaittu nousevan urheilusuorituksen jälkeen lyhytkestoisesti. Tätä selittää ilmiö, jota kuvataan termillä EPOC (excess post-exercise oxygen consumption), harjoittelun jälkeinen ylimääräinen hapenkulutus. (Speakman & Selman 2003) Compherin (2006) mukaan urheilusuorituksen jälkeen energiankulutuksen palautuminen takaisin lepotasolle riippuu suorituksen tyylistä, tehosta ja kestosta sekä yksilön fyysisen

kunnon tasosta. EPOC:in vaikutus lepoaineenvaihduntaan voi kuitenkin kestää kahdesta tunnista 48 tuntiin (Speakman & Selman 2003).

Lepoaineenvaihdunnan säilyminen painon laskiessa selittyy ainakin osittain kehonkoostumuksen muutoksilla. Esimerkiksi urheilijoilla rasvattoman massan säilyminen painonpudotuksen aikana vähentää painonpudotuksen mahdollisia haitallisia vaikutuksia lepoaineenvaihduntaan. (McArdle ym. 2015, 194) Myös Speakmanin ja Selmanin (2003) mukaan pitkäaikaiset vaikutukset lepoaineenvaihduntaan johtuvat harjoittelun aiheuttaman rasvattoman massan lisääntymisestä, ja fyysinen aktiivisuus näyttäisi vaikuttavan lepoaineenvaihduntaan nimenomaan tilanteessa, jossa rasvaton massa muuttuu harjoittelun seurauksena. McArdlen ym. (2015, 194) mukaan kahdeksan viikon aerobinen harjoittelujakso vanhemmilla ihmisillä kuitenkin tehosti lepoaineenvaihduntaa 10 % myös rasvattoman massan muuttumattomuudesta huolimatta.

3.3 Lepoaineenvaihdunta matalan energiansaataavuuden merkkinä

Koska energiansaataavuuden tarkka mittaaminen on käytännössä haastavaa, lepoaineenvaihdunnan laskua on tutkittu matalan energiansaataavuuden merkkinä (Melin ym. 2015a; Schofield ym. 2019; Staal ym. 2018). Lepoaineenvaihduntamittauksella epäsuoralla kalorimetrialla voidaan havaita alhaisesta energiansaataavuudesta johtuva aineenvaihdunnan tason aleneminen (Mountjoy ym. 2014) ja alentunut lepoaineenvaihdunta voidaan määrittää käyttäen mitatun ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan suhdetta (Schofield ym. 2019).

Voidaan olettaa, että aineenvaihdunta on alentunut, kun mitatun ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan suhde on alle 0,9 (De Souza ym. 2007; Logue ym. 2020). Tätä raja-arvoa ei voida kuitenkaan pitää täysin virheettömänä kaikelle väestölle, sillä se on kehitetty harjoittelevilla naisilla sekä Harris-Benedict-kaavaa käyttämällä (Schofield ym. 2019). Matalan energiansaataavuuden esiintyvyys on myös riippuvaista laskennallisen lepoaineenvaihdunnan määrittämiseen käytetystä laskukaavasta, johtuen eri laskukaavojen käyttämisestä vaihtelevista muuttujista (kehon massa, pituus, ikä tai FFM) (Schofield ym. 2019; Staal ym. 2018). Tästä syystä lepoaineenvaihdunnan mittaamiseen on käytettävä luotettavaa laboratoriomittausta, jotta mitattua tai suhteellista lepoaineenvaihduntaa voidaan käyttää luotettavasti matalan energiansaataavuuden määrittämiseen (Logue ym. 2020).

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kansallisen ja kansainvälisen tason naiskestävyysurheilijoiden energiansaataavuutta ja lepoaineenvaihduntaa harjoituskauden eri vaiheissa, peruskuntokaudella ja kilpailukaudella. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, onko ruokapäiväkirjojen ja lepoaineenvaihdunnan välillä yhteyttä tarkasteltaessa energiansaataavuutta.

Tutkimuskysymys 1: Eroaako naiskestävyysurheilijoiden energiansaataavuus ja lepoaineenvaihdunta peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Kilpailukauden lähellä moni urheilija pyrkii saavuttamaan suorituskyvylle optimaalisen kehonkoostumuksen suunnitellusti muokkaamalla energiansaantia ja energiankulutusta (Stellingwerff ym. 2007). Vaikka energiansaataavuuden säätely ei olisi suunnitelmallista, harjoitusmäärät ja harjoittelun teho kuitenkin vaihtelevat kestävyysurheilijan harjoituskauden eri vaiheissa (Stellingwerff ym. 2007). Ruokahalu ei mukaudu sovittamaan energiansaantia fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen (Loucks 2014, 72), minkä seurauksena energiansaataavuus voi vaihdella eri kausien välillä myös tahattomasti, kuten Heidenreichin ym. (2017) tarkastelemissa tutkimuksissa, joissa kokonaisenergiankulutuksen muutokset kauden vaihdellessa ei johtanut naiskestävyysurheilijoiden energiansaannin säätelyyn.

Säännöllisen liikunnan on havaittu vaikuttavan lepoaineenvaihduntaan jopa sitä tehostavasti (Kinoshita ym. 2021, McArdle ym. 2015, 194). Koska rasvaton massa on merkittävä lepoaineenvaihduntaan vaikuttava tekijä (Schofield ym. 2019), rasvattoman massan, erityisesti lihassmassan mahdollinen lisääntyminen harjoittelun seurauksena voi tehostaa lepoaineenvaihduntaa. Toisaalta, jos energiansaataavuus ei ole riittävää läpi sekä peruskuntokauden että kilpailukauden, voi se aiheuttaa lepoaineenvaihdunnan laskua (Melin ym. 2015a; Melin ym. 2019).

Tutkimuskysymys 2: Onko ruokapäiväkirjan avulla arvioitu energiansaataavuus yhteydessä epäsuoralla kalorimetrialla mitattuun lepoaineenvaihduntaan?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Ainakin matalan energiansaatavuuden on todettu olevan yhteydessä alentuneeseen lepoaineenvaihduntaan keski- ja pitkän matkan urheilijoilla verrattuna urheilijoihin, joilla on riittävä energiansaanti (Melin ym. 2019). Melin ym. (2015a) tutkimuksessa havaittiin positiivinen yhteys energiansaatavuuden ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä. Sekä mitattu että laskennallinen lepoaineenvaihdunta olivat alhaisempia matalan tai vähentyneen energiansaatavuuden urheilijoilla verrattuna optimaalisen energiansaatavuuden urheilijoihin.

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Tutkittavat

Tutkimusaineisto koostui Jyväskylän yliopiston vuosien 2020–2024 aikana toteutetun ”Huippu-urheilijoiden suorituskyky: kehonkoostumuksen, energian ja energiaravintoaineiden jaksoitus eri harjoituskauden vaiheiden välillä”, NoREDS-tutkimukseen osallistuvista koehenkilöistä. Tähän tutkimukseen valittiin yhteensä 44 15–34 –vuotiasta kansallisella ja kansainvälisellä tasolla kilpailevaa naiskestävyysurheilijaa. 17 tutkittavalta otettiin huomioon kaikkien muuttujien tulokset molemmista mittauspisteistä, peruskuntokaudelta ja kilpailukaudelta. Lisäksi 27 tutkittavalta otettiin huomioon vain osa muuttujista tai muuttajat vain toisesta aikapisteestä, sillä tuloksissa oli puuttuvia tietoja. Kuudelta tutkittavalta hyödynnettiin myös useampia mittauskertoja samasta kauden vaiheesta, mistä syystä tuloksia antavia mittauksia oli yhteensä 51. Mukana oli kestävyysurheilijoita kuudesta eri lajista, jotka olivat ampumahiihto (n=2), maastohiihto (n=11), kestävyysjuoksu (n=9), suunnistus (n=18), kilpakävely (n=2) ja triathlon (n=2). Tutkittavien perustiedot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Tutkittavien taustatiedot: ikä, antropometria, kehon massaindeksi (BMI) ja rasvaprosentti (keskiarvo ± keskihajonta).

	Ikä	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m ²)	Rasvaprosentti (%)
peruskuntokausi (n=48)	23,5 ± 4,3	169 ± 6	59,4 ± 4,6	20,7 ± 1,3	17,0 ± 5,0
kilpailukausi (n=37)	23,5 ± 4,2	169 ± 5	59,6 ± 5,1	20,7 ± 1,6	16,3 ± 5,2

Ennen tutkimukseen osallistumista tutkittavat saivat lomakkeen, jossa kerrottiin tutkimuksen kulusta, siihen liittyvistä riskeistä, osallistumisen vapaaehtoisuudesta sekä keskeyttämismahdollisuuksista. Tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen, jolla he hyväksyivät tutkimukseen osallistumisen, siihen liittyvät mahdolliset riskit, tarvittavan tiedon keräämisen sekä tulosten julkaisemisen. Tutkimuksella on Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksymä lausunto.

5.2 Koeasetelma

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kansallisen ja kansainvälisen tason naiskestävyysurheilijoiden energiansaataavuutta ja lepoaineenvaihduntaa harjoituskauden eri vaiheissa, peruskuntokaudella ja kilpailukaudella. Tarkoituksena oli myös selvittää, onko ruokapäiväkirjojen ja lepoaineenvaihdunnan välillä yhteyttä tarkasteltaessa energiansaataavuutta.

Tutkimuksessa tarkasteltavia muuttujia olivat kehonkoostumus (rasvaprosentti, rasvamassa ja rasvaton massa), energiansaataavuus, mitattu ja laskennallinen lepoaineenvaihdunta sekä suhteellinen lepoaineenvaihdunta. Energiansaataavuutta, lepoaineenvaihduntaa, suhteellista lepoaineenvaihduntaa ja kehonkoostumusta verrattiin kauden eri vaiheiden välillä. Lisäksi tarkasteltiin kaikkien tarkasteltujen muuttujien yhteyttä toisiinsa, sekä energiansaataavuuden, mitatun lepoaineenvaihdunnan, suhteellisen lepoaineenvaihdunnan ja rasvattoman massan muutosten yhteyttä toisiinsa.

Tutkimuksessa käytettiin sekä poikkileikkaus- että pitkittäistutkimusasetelmia. Energiansaataavuuden, lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumuksen vertailu kauden eri vaiheissa toteutettiin pitkittäisasetelmana tarkastelemalla muuttujia kahdessa eri aikapisteessä, peruskuntokaudella ja kilpailukaudella. Energiansaataavuuden, lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumuksen yhteyksien tarkasteleminen toteutettiin lisäksi poikkileikkausasetelmana samasta mittauspisteestä sekä myös eri mittauspisteistä.

5.3 Aineiston keräys

Mittaukset toteutettiin tutkittaville vuosien 2021–2022 aikana. Mittauksiin sisältyivät antropometriset mittaukset ja kehonkoostumuksen mittaukset, neljän päivän ruoka- ja harjoituspäiväkirja sekä lepoaineenvaihdunnan mittaus epäsuoralla kalorimetrialla.

Kehonkoostumus. Kehonkoostumus määritettiin kaksienenergisellä röntgensäteiden absorptiometrialla (DXA, dual energy X-ray absorptiometry). Rasvattoman massan määrittäminen DXA:lla perustuu kahden eri energiatasoisen röntgensäteiden vaimennuseroihin kudoksissa. Esimerkiksi luun mineraalit absorboivat huomattavasti enemmän säteilyä kuin pehmytkudos, miten voidaan erottaa luukudos pehmytkudoksesta. (Lewiecki & Borges 2006)

Pituus mitattiin mittanauhalla 0,5 cm tarkkuudella ja paino määritettiin DXA –mittauksen avulla 0,1 kg tarkkuudella.

Kehonkoostumuksen mittaukset suoritettiin aamulla paaston jälkeen. DXA-mittauksessa tutkittava ohjeistettiin selinmakuulle mittauspöydälle mittaustason keskiviivan molemmin puolin, pää noin 5 cm yläpäässä olevasta viivasta. Tutkittavan selkäranka oikaistiin vetämällä nilkoista, jalkojen asento vakioitiin styroksilevyjen avulla ja käsien asento vartalon ja käsien väliin asetettujen hernepussien avulla. Tässä tutkimuksessa käytettiin Lunar Prodigy DXA –laitetta (GE Lunar Prodigy Advance, Madison, WI, USA), jonka variaatiokertoimet ovat koko kehon massaa mitattaessa 0,63 %, rasvatonta massaa mitattaessa 1,1 % ja rasvamassaa mitattaessa 2,0 % (Kiebzak ym. 2000). DXA-laitteen kalibrointi toteutettiin päivittäin valmistajan ohjeen mukaisesti.

Ruokapäiväkirja. Tutkittavat täyttivät ruokapäiväkirjaa neljän peräkkäisen päivän ajalta Meallogger-sovellukseen. Tutkittavat ohjeistettiin lisäämään sovellukseen kuvat nautituista ruoka-annoksista sekä kuvaamaan sanallisesti kuvien sisältämät ruoka-aineet ja niiden määrät. Ruokapäiväkirjan täyttöpäivien suositeltiin sisältävän ainakin yksi lepopäivä tai kevyempi harjoituspäivä, kova harjoituspäivä, viikonloppu- ja arkipäivä. Tutkittavat ohjeistettiin ruokailemaan mahdollisimman normaalisti ja kirjaamaan kaikki syöty ruoka ja juoma mahdollisimman tarkasti ylös. Ruokapäiväkirjaan merkittiin lisäksi ruokailun aika ja paikka. Tutkittavat saivat palautetta ruokapäiväkirjoistaan.

Harjoituspäiväkirja. Tutkittavat täyttivät harjoitus- ja aktiivisuuspäiväkirjaa ruokapäiväkirjan yhteydessä neljän päivän ajalta. Harjoitukset merkittiin Meallogger-sovellukseen ja harjoituksista ohjeistettiin merkitsemään harjoittelun tyyppi, sisältö, kesto, koettu kuormittuneisuus (RPE, rating of perceived exertion) ja mahdollisuuksien mukaan sykemittarin perusteella keskisyke, sykealue sekä harjoituksen energiankulutus. Harjoituspäiväkirjan avulla saatiin arvioitua päivittäistä energiankulutusta.

Lepoaineenvaihdunta, epäsuora kalorimetria. Lepoaineenvaihduntamittaus toteutettiin epäsuoralla kalorimetrialla (SentrySuite versio 2.21.4; Vyntus CPX, CareFusion). Järjestelmä kalibroitiin jokaisen testin alussa. Lepoaineenvaihduntamittaus toteutettiin 12 tunnin paaston jälkeen hiljaisessa ja hämärässä tilassa, jossa lämpötila oli vakio, 22°C. Tutkittavat ohjeistettiin makaamaan paikallaan selinmakuulla, hengittämään normaalisti ja pitämään silmät auki.

Tutkittavat makasivat viisi minuuttia paikallaan ennen mittauksen aloittamista, ja tämän jälkeen itse mittauksen kesto oli 15 minuuttia.

5.4 Aineiston analysointi

Kehonkoostumus. DXA:lla mitatusta kehonkoostumuksesta tilastoitiin paino, rasvaprosentti, rasvamassa sekä rasvaton massa. Kehon rasvaprosentti määritettiin jakamalla rasvamassa kehon painolla.

Ruoka- ja harjoituspäiväkirja. Ruoka- ja harjoituspäiväkirjoista tilastoitiin energiansaataavuus. Täytettyjen ruokapäiväkirjojen sekä harjoituspäiväkirjojen avulla määritettiin tutkittavien arvioitu energiansaanti ja energiankulutus. Ruokapäiväkirjoista saadut ruoka-aineet ja niiden määrät syötettiin Fineli -ohjelmaan (Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinnin laitos), jonka avulla saatiin päiväkohtaiset energian- ja ravintoaineiden saannit. Energiankulutuksen määrittämisessä käytettiin lepoaineenvaihdunnan määrittämiseen Cunninghamin (1980) kaavaa $500 + 22 \times \text{FFM}$. Harjoittelun aiheuttama energiankulutus laskettiin käyttämällä Ainsworthin ym. (2011) luomia MET-arvoja (metabolic equivalent), jotka kuvaavat kuinka moninkertaisesti suoritusteho ylittää lepoenergiankulutuksen. Harjoittelun aiheuttaman energiankulutuksen määrittämiseen käytettiin kaavaa $t \times \text{MET} \times (\text{REE}/24) - (\text{REE}/24) \times t$, jossa t = harjoituksen kesto tunteina, MET = Ainsworthin ym. (2011) kerroin fyysiselle aktiviteetille ja REE = Cunninghamin (1980) kaavalla laskettu lepoenergiankulutus. Energiatasapaino laskettiin energiansaannin ja energiankulutuksen erotuksesta. Jakamalla tämä rasvattomalla massalla saadaan rasvatonta painokiloa kohti ilmoitettu energiansaataavuus.

Lepoaineenvaihdunta. Lepoaineenvaihdunta mitattiin epäsuoralla kalorimetrialla. Lepoaineenvaihduntamittauksen aikana mitattiin hapenkulutusta sekä hiilidioksidin tuottoa, joiden avulla määritettiin energiankulutus levossa. Laskennallinen lepoaineenvaihdunta (pRMR, predicted resting metabolic rate) määritettiin Cunninghamin (1980) laskukaavalla $500 + 22 \times \text{FFM}$, jota pidetään soveltuvimpana urheilijoille (Schofield ym. 2019). Suhteellinen lepoaineenvaihdunta saadaan jakamalla mitattu lepoaineenvaihdunta laskennallisella lepoaineenvaihdunnalla. Voidaan olettaa, että aineenvaihdunnan taso on alentunut, kun suhteellinen lepoaineenvaihdunta $< 0,9$. (De Souza ym. 2007)

5.5 Tilastolliset menetelmät

Aineiston tilastolliseen analysointiin käytettiin Microsoft Excel sekä IMP SPSS Statistics 28 – ohjelmia. Tulokset on ilmoitettu muodossa keskiarvo \pm keskihajonta. Muuttujien normaalijakautuneisuus selvitettiin Shapiro Wilk -testillä sekä tarkastelemalla muuttujien vinous- ja huipukkuusarvoja. Aineisto oli normaalisti jakautunut lukuun ottamatta lepopaineenvaihdunnan, suhteellisen lepopaineenvaihdunnan sekä rasvattoman massan muutoksia peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä, joten muiden muuttujien analysointiin käytettiin parametrisiä testejä, mutta edellä mainittujen muuttujien analysointiin nonparametrisiä testejä. Normaalisti jakautuneiden muuttujien analysointiin käytettiin parittaista t-testiä (paired-samples t-test) ja Pearsonin korrelaatiokerrointa. Nonparametristen muuttujien analysointiin käytettiin Spearmanin korrelaatiokerrointa. Korrelaatiokertoimissa arvo $r \leq |0,3|$ kuvaa heikkoa, $|0,3| < r < |0,7|$ kohtalaista ja $r \geq |0,7|$ vahvaa yhteyttä. Tilastollisen merkitsevyyden rajana käytettiin $p < 0,05$.

6 TULOKSET

Energiansaanti oli peruskuntokaudella keskimäärin 2565 ± 531 kcal/vrk ja harjoittelun aiheuttama energiankulutus 2222 ± 340 kcal/vrk. Peruskuntokaudella energiansaatavuus oli 73 %:lla ($n = 27$) koehenkilöistä alle optimaalisen energiansaatavuuden raja-arvon (< 45 kcal/kg FFM/vrk) ja 22 %:lla ($n = 8$) koehenkilöistä alle matalan energiansaatavuuden raja-arvon (< 30 kcal/kg FFM/vrk). Alentunut lepoaineenvaihdunta ($< 0,9$) havaittiin peruskuntokaudella 28 %:lla ($n = 13$) koehenkilöistä.

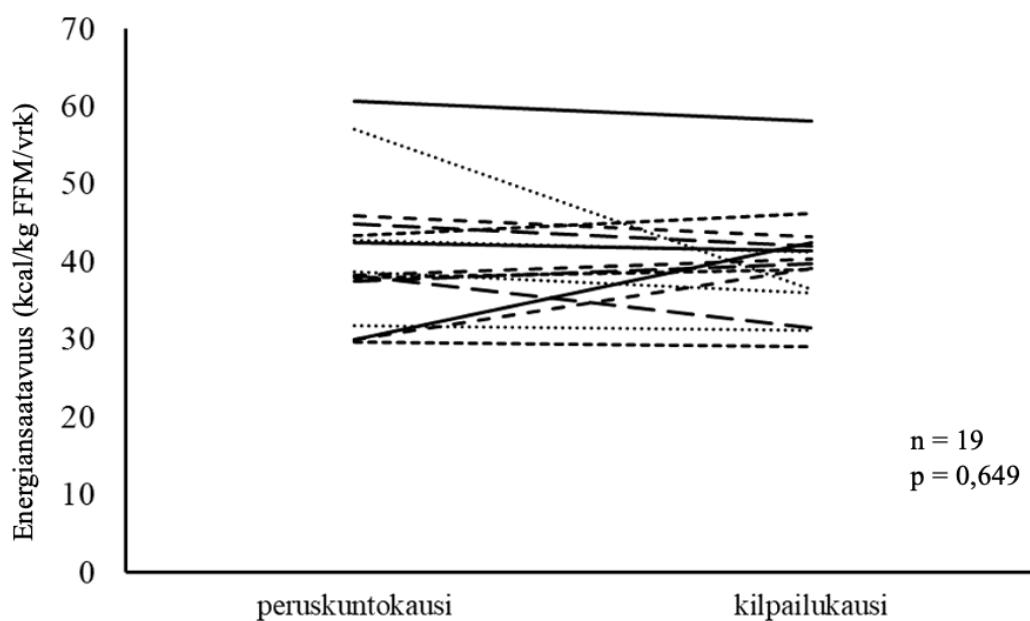
Kilpailukaudella energiansaanti oli keskimäärin 2481 ± 378 kcal/vrk ja harjoittelun aiheuttama energiankulutus 2326 ± 328 kcal/vrk. Kilpailukaudella energiansaatavuus oli 77 %:lla ($n = 17$) koehenkilöistä alle optimaalisen energiansaatavuuden raja-arvon (< 45 kcal/kg FFM/vrk) ja 13 %:lla ($n = 4$) koehenkilöistä alle matalan energiansaatavuuden raja-arvon (< 30 kcal/kg FFM/vrk). Alentunut lepoaineenvaihdunta ($< 0,9$) havaittiin kilpailukaudella 22 %:lla ($n = 8$) koehenkilöistä.

Taulukossa 3 on esitettyä kehonkoostumuksen (paino, rasvamassa, rasvaton massa ja rasvaprosentti), energiansaatavuuden ja lepoaineenvaihdunnan (mitattu, laskennallinen ja suhteellinen) muutokset peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä. Kehonkoostumuksen muutoksia tarkasteltaessa kauden eri vaiheissa molemmista aikapisteistä saatu data otettiin huomioon 35 tutkittavalta. Kehonkoostumuksen osalta, paino, rasvamassa, rasvaton massa tai rasvaprosentti ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä. Energiansaatavuuden muutoksia tarkasteltaessa data kahdesta aikapisteestä saatiin 19 tutkittavalta. Energiansaatavuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä ($p=0,649$) (kuva 6). Lepoaineenvaihdunnan muutoksia tarkasteltaessa kahden aikapisteen data saatiin 34 tutkittavalta. Mitattu lepoaineenvaihdunta ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä ($p=0,338$) (kuva 7). Myöskään suhteellinen lepoaineenvaihdunta ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi harjoituskauden ja kilpailukauden välillä ($p=0,395$).

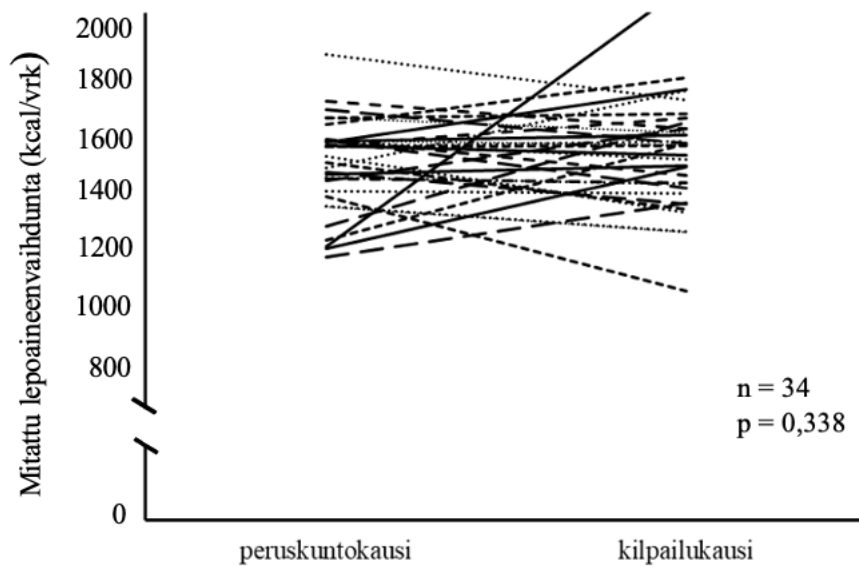
TAULUKKO 3. Kehonkoostumuksen, energiansaataavuuden ja lepoaineenvaihdunnan muutokset peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä.

	Peruskuntokausi (keskiarvo ± keskihajonta)	Kilpailukausi (keskiarvo ± keskihajonta)	Muutos (keskiarvo ± keskihajonta)	Muutos %	p-arvo
Paino (kg) (n=35)	59,2 ± 4,7	59,3 ± 5,1	0,1 ± 2,1	0,2	0,705
FM (kg) (n=35)	9,7 ± 3,1	9,7 ± 3,5	0 ± 1,6	0,5	0,853
FFM (kg) (n=35)	46,9 ± 4,2	47,1 ± 4,3	0,2 ± 1,0	0,4	0,336
Rasva% (n=35)	16,3 ± 4,8	16,2 ± 5,3	-0,1 ± 2,2	-0,6	0,604
EA (kcal/kg FFM/vrk) (n=19)	39,7 ± 10,3	38,5 ± 9,7	-1,2 ± 11,0	-3,1	0,649
mRMR (kcal/vrk) (n=34)	1517 ± 145	1550 ± 174	34 ± 201	2,2	0,338
rRMR (kcal/vrk) (n=34)	0,95 ± 0,09	0,97 ± 0,11	0,02 ± 0,12	2,1	0,395

FM, rasvamassa (fat mass); FFM, rasvaton massa (fat free mass); EA, energiansaataavuus (energy availability); mRMR, mitattu lepoaineenvaihdunta (measured resting metabolic rate); rRMR, suhteellinen lepoaineenvaihdunta (relative resting metabolic rate)

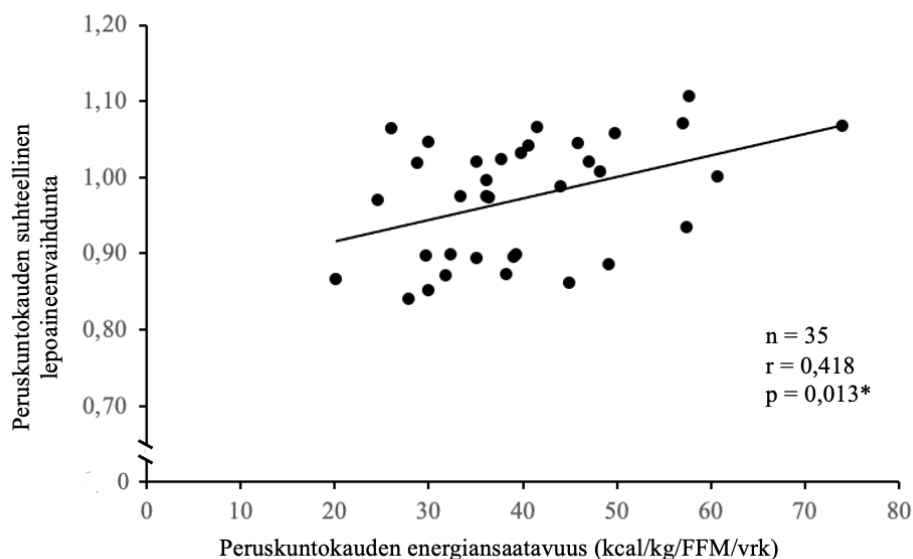


KUVA 6. Energiansaataavuuden muutos peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä.



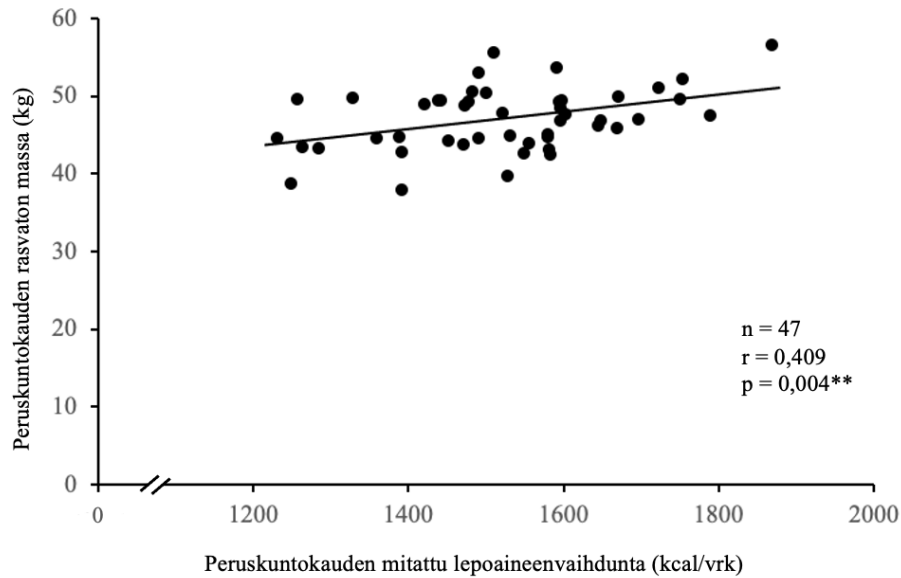
KUVA 7. Mitatun lepoinneenvaihdunnan muutos peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä.

Peruskuntokauden energiansaataavuus oli yhteydessä peruskuntokauden suhteelliseen lepoinneenvaihduntaan ($r=0,418$, $p=0,013$) (kuva 8). Energiansaataavuuden muutos kauden eri vaiheiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä lepoinneenvaihdunnan tai kehonkoostumuksen muutoksiin kauden eri vaiheissa.

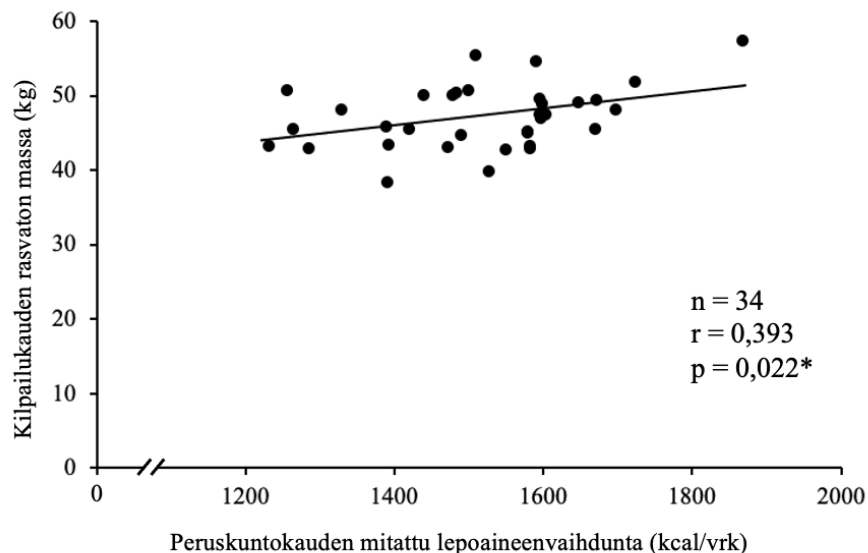


KUVA 8. Peruskuntokauden energiansaataavuuden yhteys peruskuntokauden suhteelliseen lepoinneenvaihduntaan. * Tilastollisesti merkitsevä.

Peruskuntokauden mitatun ja peruskuntokauden suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio ($r=0,802$, $p<0,001$). Peruskuntokauden mitattu lepoaineenvaihdunta oli yhteydessä myös peruskuntokauden rasvattomaan massaan ($r=0,409$, $p=0,004$) (kuva 9) ja kilpailukauden rasvattomaan massaan ($r=0,393$, $p=0,022$) (kuva 10).

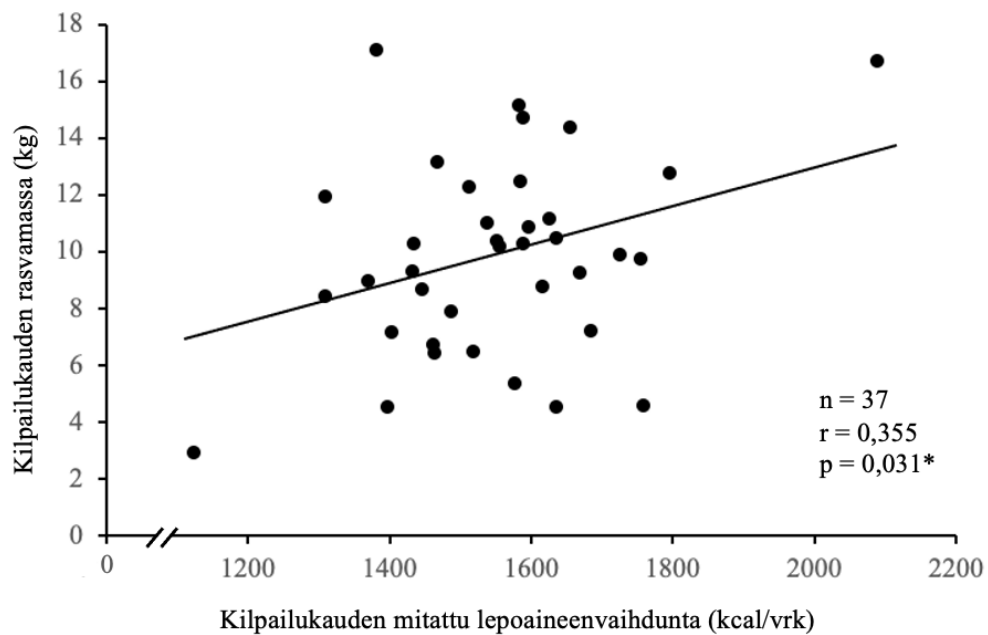


KUVA 9. Peruskuntokauden mitatun lepoaineenvaihdunnan yhteys peruskuntokauden rasvattomaan massaan. ** Tilastollisesti hyvin merkitsevä.

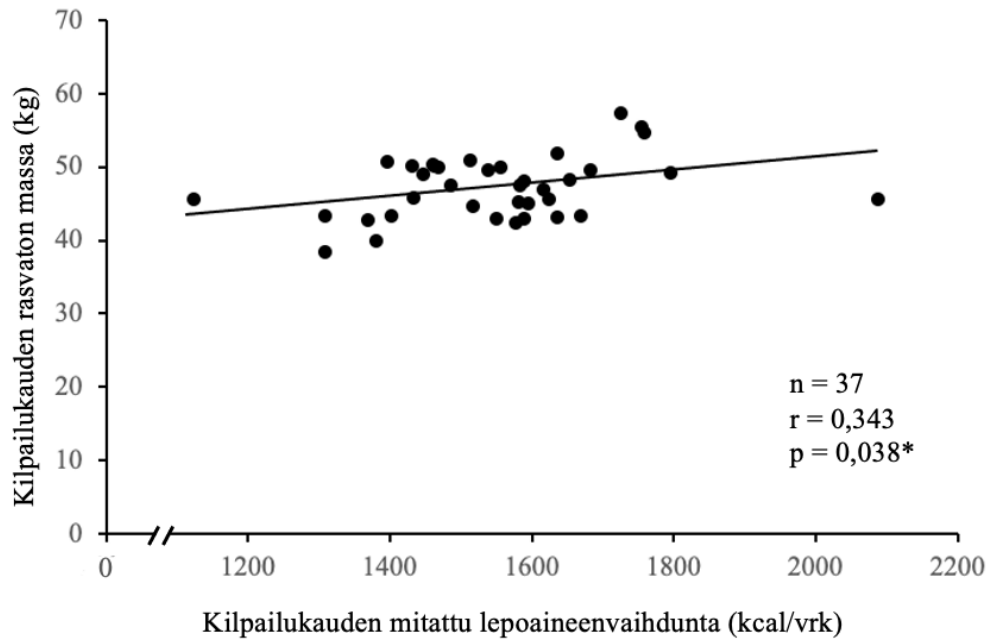


KUVA 10. Peruskuntokauden mitatun lepoaineenvaihdunnan yhteys kilpailukauden rasvattomaan massaan. * Tilastollisesti merkitsevä.

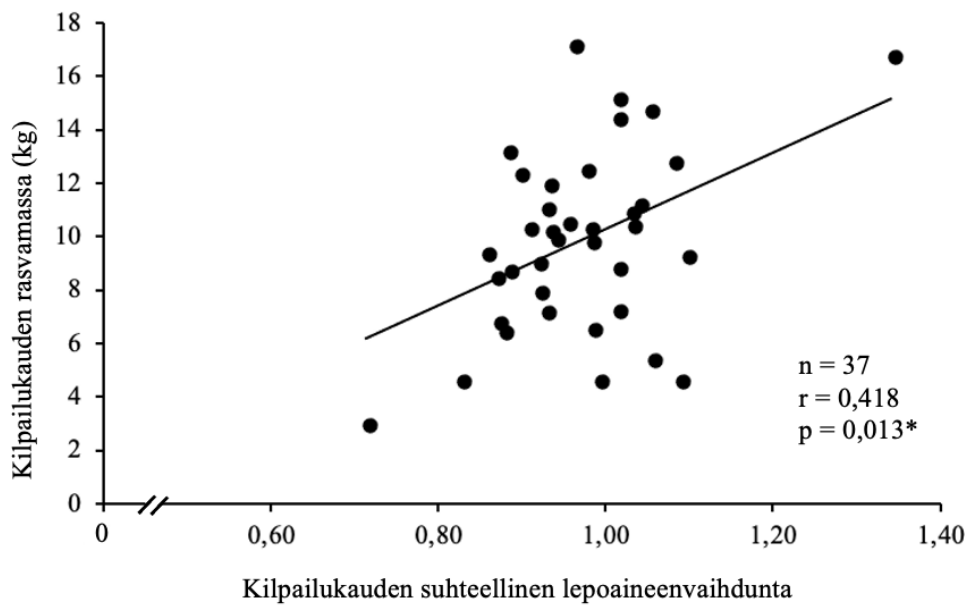
Kilpailukauden mitatun lepoaineenvaihdunnan ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio ($r=0,842$, $p<0,001$). Kilpailukauden mitattu lepoaineenvaihdunta oli yhteydessä myös kilpailukauden rasvamassaan ($r=0,355$, $p=0,031$) (kuva 11) sekä kilpailukauden rasvattomaan massaan ($r=0,343$, $p=0,038$) (kuva 12). Kilpailukauden suhteellinen lepoaineenvaihdunta oli yhteydessä kilpailukauden rasvamassaan ($r=0,418$, $p=0,013$) (kuva 13). Mitatun lepoaineenvaihdunnan muutoksella ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan muutoksella kauden eri vaiheiden välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio ($r=0,993$, $p<0,001$).



KUVA 11. Kilpailukauden mitatun lepoaineenvaihdunnan yhteys kilpailukauden rasvamassaan. * Tilastollisesti merkitsevä.



KUVA 12. Kilpailukauden mitatun lepoaineenvaihdunnan yhteys kilpailukauden rasvattomaan massaan. * Tilastollisesti merkitsevä.



KUVA 13. Kilpailukauden suhteellisen lepoaineenvaihdunnan yhteys kilpailukauden rasvamassaan. * Tilastollisesti merkitsevä.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia energiansaataavuutta ja lepoaineenvaihduntaa harjoituskauden eri vaiheissa, peruskuntokaudella ja kilpailukaudella, kansallisen ja kansainvälisen tason naiskestävyysurheilijoilla. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia, onko ruokapäiväkirjojen ja lepoaineenvaihdunnan välillä yhteyttä energiansaataavuuden määrittämisessä. Tarkoituksena oli käytännössä selvittää, voitaisiinko esimerkiksi alentuneen lepoaineenvaihdunnan avulla havaita matalaa energiansaataavuutta.

Energiansaataavuus. Energiansaataavuus ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä, joten tämän osalta hypoteesi 1 ei toteutunut. Tämä on toisaalta tyypillistä, sillä vaikka erityisesti energiansaataavuudessa tulisi optimaalisesti ja suunnitelmallisesti olla eroa peruskuntokauden sekä kilpailukauden välillä, ei tämä käytännössä välttämättä toteudu kuten Heydenreichin ym. (2017) review-artikkelin naiskestävyysurheilijoiden energiansaataavuutta tarkastelevissa tutkimuksissa. Erityisesti jos urheilijan ravitsemuksen säätely ei ole suunnitelmallista, merkittävää eroa energiansaataavuudessa ei välttämättä tapahdu eri kausien välillä.

Energiansaataavuuteen vaikuttaa energiansaannin lisäksi myös energiankulutus, minkä takia on kuitenkin hieman yllättävää, että energiansaataavuudessa ei tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä. Tyypillisesti harjoitusmäärät ja harjoittelun intensiteetti vaihtelevat kestävyysurheilijoilla kauden eri vaiheissa (Stellingwerff ym. 2007), eikä ruokahalu itsessään mukaudu riittävästi fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen (Loucks 2014,72).

Matalan ja alentuneen energiansaataavuuden esiintyvyys oli taulukossa 1 esiteltyjen aiempien tutkimusten mukaista. Molemmissa kauden vaiheissa alentunutta energiansaataavuutta esiintyi yli 70 %:lla koehenkilöistä ja matalaa energiansaataavuutta peruskuntokaudella 22 %:lla ja kilpailukaudella 13 %:lla koehenkilöistä. Energiansaataavuus oli peruskuntokaudella keskimäärin $39,7 \pm 10,3$ ja kilpailukaudella keskimäärin $38,5 \pm 9,7$. Energiansaataavuus oli siis sekä peruskuntokaudella että kilpailukaudella taulukossa 2 esiteltyjen aiempien tutkimusten mukaisesti keskimäärin alle optimaalisen energiansaataavuuden.

Energiansaanti oli peruskuntokaudella keskimäärin 2565 ± 531 kcal/vrk ja kilpailukaudella keskimäärin 2481 ± 378 kcal/vrk. Tuloksista voidaan havaita, että energiansaanti oli tyypillisesti suunnitelmallisen ravitsemuksen säätelyn (Mero 2016a, 177–178) mukaan keskimäärin kilpailukaudella peruskuntokautta alhaisempaa. Harjoittelun aiheuttama energiankulutus oli kuitenkin keskimäärin kilpailukaudella (2326 ± 328 kcal/vrk) tyypillisestä poikkeavasti peruskuntokautta (2222 ± 340 kcal/vrk) suurempaa. Näistä voidaan myös havaita Heydenreichin ym. (2017) review-artikkelin mukainen ilmiö, että energiansaannin säätely harjoituskauden ja –kuorituksen mukaan ei aina käytännössä toteudu.

Syynä suurella osalla esiintyvälle alhaiselle energiansaatavuudelle voi olla kestävyysurheilijoiden suuret harjoitusmäärät ja niiden aiheuttama energiankulutus, jota ei saada kompensoitua riittävällä energiansaannilla (Loucks ym. 2011). Tämä voi olla urheilijoilta usein täysin tahatonta ja tiedostamatonta, mutta osalla urheilijoista myös tarkoituksenmukaista esimerkiksi vääränlaisesta omatoimisesta kehonkoostumuksen muokkaamisesta tai jopa syömishäiriöstä johtuvaa (Loucks ym. 2011; Thomas ym. 2016). Alhaisen energiansaatavuuden taustan selvittämiseksi olisi hyvä selvittää myös urheilijoiden ravitsemustietämyksen taso, vaikka hyvä ravitsemustietämyskään ei aina välttämättä takaa riittävää energiansaatavuutta (Day ym. 2015).

Käytännön päivittäisvalmennuksessa on hyvä pohtia, missä tilanteissa energiansaatavuuden säätely ja rajoittaminen on täysin tarpeellista ja sillä saavutettavat hyödyt suurempia, kuin liian alhaiseen energiansaatavuuden riskit. Esimerkiksi nuorten urheilijoiden kohdalla riittävän energiansaatavuuden painottaminen on todennäköisesti huomattavasti tärkeämpää kuin energiansaatavuuden säätelyllä parempaan suorituskykyyn pyrkiminen, sillä nuorilla riski matalaan energiansaatavuuteen ja siitä seuraaviin terveyshaittoihin on suurempi, koska myös energiantarve on suurempaa kasvun ja kehityksen takia. Aikuisilla huippu-urheilijoilla, joilla erot suorituskyvyssä ovat pieniä, voidaan energiansaatavuuden säätelyllä saavuttaa pieniä, mutta merkittäviä hyötyjä suorituskykyyn. Heidänkin kohdallansa on kuitenkin tärkeää huolehtia riittävästä pitkän aikavälin energiansaatavuudesta terveyden ylläpitämiseksi ja ylirasitustilan välttämiseksi. Energiansaatavuuden säätelyä tulee harkita kriittisesti jokaisen urheilijan kohdalla, mutta mahdollisesti vielä tarkemmin naisurheilijoiden kohdalla. Kilpailuja varten tavoiteltava paino ja kehonkoostumus eroavat naisilla miehiä enemmän kehon luonnollisista ominaisuuksista (Burke ym. 2007), jolloin riskit matalasta energiansaatavuudesta aiheutuville terveydellisille seurauksille ovat suurempia.

Lepoaineenvaihdunta. Lepoaineenvaihdunta ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä, joten hypoteesi 1 ei toteutunut myöskään lepoaineenvaihdunnan osalta. Kehonkoostumuksen tai energiansaataavuuden muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä. Näiden myötä on luonnollista, ettei myöskään lepoaineenvaihdunnan muutokset peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä olleet tilastollisesti merkitseviä.

Tuloksista nähdään, että lepoaineenvaihdunta on vahvasti yhteydessä erityisesti rasvattomaan massaan, joka on myös aiempien tutkimusten mukaan merkittävä lepoaineenvaihduntaan vaikuttava tekijä (Oshima ym. 2011). Mitattu lepoaineenvaihdunta oli yhteydessä rasvattomaan massaan sekä peruskuntokaudella ($p=0,004$) että kilpailukaudella ($p=0,038$), sekä kilpailukaudella myös rasvamassaan ($p=0,013$). Aiemmissä tutkimuksissa on myös havaittu lepoaineenvaihdunnan mukautuvan ainakin matalaan energiansaataavuuteen (Melin ym. 2015a). Alentunut lepoaineenvaihdunta ($< 0,9$) havaittiin peruskuntokaudella 28 %:lla koehenkilöistä ja kilpailukaudella 22 %:lla koehenkilöistä.

Kehonkoostumus. Kehonkoostumuksen muutokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä. Vaikka paino, rasvamassa, rasvaton massa tai rasvaprosentti eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi harjoituskauden ja kilpailukauden välillä, voidaan havaita, että kehonpaino ($0,1 \pm 2,1$ kg) sekä rasvaton massa ($0,2 \pm 1,0$ kg) olivat kilpailukaudella keskimäärin hieman suurempia. Tämä voi selittää myös keskimäärin hieman suurempaa mitattua (34 ± 201 kcal) lepoaineenvaihduntaa kilpailukaudella. Keskimääräinen rasvaprosentti ($-0,1 \pm 2,2$) laski myös hieman peruskuntokaudelta kilpailukaudelle, mikä on tyypillistä kehonkoostumuksen muutoksille peruskuntokauden ja kilpailukauden välillä (Thomas ym. 2016).

Yhteydet. Tuloksista voidaan havaita useita korrelaatioita kehonkoostumuksen ja lepoaineenvaihdunnan välillä. Nämä yhteydet ovat aiempien tutkimusten mukaisia, kehonkoostumuksen, erityisesti rasvattoman massan, ollessa merkittävä lepoaineenvaihduntaan vaikuttava tekijä (Oshima ym. 2011; Schofield ym. 2019).

Peruskuntokauden energiansaataavuus oli yhteydessä peruskuntokauden suhteelliseen lepoaineenvaihduntaan, mikä tukee hypoteesia 2. Myös Melin ym. (2015a) havaitsivat

tutkimuksessaan positiivisen yhteyden energiansaataavuuden ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan välillä. Kilpailukaudella vastaavaa yhteyttä ei kuitenkaan havaittu, joten hypoteesi 2 ei tämän osalta toteutunut. Molemmissa harjoituskauden vaiheissa esiintyi kuitenkin matalaa energiansaataavuutta (22 ja 13 %) sekä alentunutta lepoaineenvaihduntaa (28 ja 22 %). Lepoaineenvaihdunta oli alentunut suuremmalla osalla tutkittavista kuin matala energiansaataavuus, joten myös jo alentunut energiansaataavuus voi mahdollisesti aiheuttaa lepoaineenvaihdunnan laskua. Alentunutta lepoaineenvaihduntaa voidaan siis käyttää mahdollisena matalan energiansaataavuuden merkinä, mutta sitä ei kuitenkaan tule näiden tulosten perusteella pitää täysin yksiselitteisenä matalan energiansaataavuuden mittarina.

Mitatun lepoaineenvaihdunnan muutoksella ja suhteellisen lepoaineenvaihdunnan muutoksella kauden eri vaiheiden välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio, mikä oli odotettua, sillä mitattu lepoaineenvaihdunta vaikuttaa suhteelliseen lepoaineenvaihduntaan laskennallisen lepoaineenvaihdunnan kanssa. Energiansaataavuuden tai kehonkoostumuksen muutoksilla ei ollut kuitenkaan yhteyttä muiden muuttujien muutoksiin kauden eri vaiheiden välillä, joten hypoteesi 2 ei toteutunut tältäkään osin. Muutosten yhteyksien vähäisyyttä muihin muuttujiin voi selittää ainakin se tekijä, että minkään muuttujan muutos eri kausien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Tuloksista on havaittavissa, että energiansaataavuus oli kilpailukaudella keskimäärin hieman alhaisempi ($-1,2 \pm 11,0$ kcal/kg FFM/vrk) kuin peruskuntokaudella, mutta lepoaineenvaihdunta oli kilpailukaudella peruskuntokautta suurempaa. Tästä voitaisiin päätellä, että kehonkoostumuksen vaikutus lepoaineenvaihduntaan olisi energiansaataavuutta merkittävämpi. Tässä tilanteessa rasvattoman massan lisääntyminen peruskuntokaudelta kilpailukaudelle on todennäköisesti tehostanut hieman lepoaineenvaihduntaa aiempien tutkimusten mukaisesti (McArdle ym. 2015, 194). Näistä tuloksista ei voida kuitenkaan tehdä absoluuttisia johtopäätöksiä, sillä muutokset kehonkoostumuksessa, energiansaataavuudessa tai lepoaineenvaihdunnassa sekä kaikki näiden väliset yhteydet eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Rajoitukset ja vahvuudet. Tulosten tulkintaa ja raportointia vaikeutti hieman koehenkilöiden ja mittauskertojen määrän vaihtelu eri muuttujien välillä. Tutkittavien määrä oli myös melko pieni, mikä heikentää tutkimuksen yleistettävyyttä. Tutkittavien määrä oli kuitenkin melko samansuuruinen aiempien samaa aihetta käsittelevien tutkimusten kanssa.

Tiedonkeruumenetelmistä ainakin ruokapäiväkirjoihin ja harjoituspäiväkirjoihin tulee suhtautua hieman varauksella, sillä niissä voi usein esiintyä virheraportointia tai muita heikkouksia. Virheraportointi voi olla esimerkiksi yli- tai aliraportointia syötyjen ruokien määrästä. Ruokapäiväkirjojen täyttöaika oli vain neljä päivää, joten on myös mahdollista, että tutkittava on muuttanut ruokailujaan ruokapäiväkirjan täyttöaikana, eikä ruokapäiväkirja anna tämän takia todellista kuvaa tutkittavan energiansaataavuudesta. Ruokapäiväkirjojen raportoinnissa oli myös eroja, mikä vaikutti niiden tulkitsemiseen. Osassa ruokapäiväkirjoista ruoat oli punnittu ja raaka-aineet ja ruokamäärät raportoitu tarkasti, kun taas osassa ruokapäiväkirjoista oli raportoituna vain kuva annoksesta, jolloin tulosten tarkkuus ja luotettavuus jäi ruokapäiväkirjan analysoijan ammattitaidon ja arvion varaan. Harjoittelun aiheuttamaa energiankulutusta arvioitiin MET-taulukoiden avulla, joihin voi myös liittyä huomattavia epätarkkuuksia ja arviointivirheitä harjoituspäiväkirjan analysoimisessa.

Kehonkoostumuksen määrittämiseen käytettiin tässä tutkimuksessa Lunar Prodigy DXA – laitetta, jonka variaatiokertoimet ovat koko kehon massaa mitattaessa 0,63 %, rasvatonta massaa mitattaessa 1,1 % ja rasvamassaa mitattaessa 2,0 % (Kiebzak ym. 2000). Tätä voidaan pitää luotettavana menetelmänä kehonkoostumuksen määrittämiseen. Myös lepoaineenvaihdunnan mittausta epäsuoralla kalorimetrialla voidaan pitää riittävän luotettavana menetelmänä, sillä mittaustilanne oli vakioitu.

Aihe on tärkeä erityisesti nuorten ja naisurheilijoiden keskuudessa, mutta sovellettavissa kaikkien urheilijoiden terveyden ja suorituskyvyn edistämiseen. Tulevaisuudessa olisi vielä hyvä toteuttaa Stellingwerffin (2018) tutkimuksen kaltaisia tapaustutkimuksia, joiden avulla voitaisiin osata suhteuttaa suorituskyvylliset hyödyt ja energiansaataavuuden säätelystä aiheutuvat riskit toisiinsa ja harkita energiansaataavuuden rajoittamista käytännössä oikein. Joka tapauksessa energiansaataavuuden säätely ja rajoittaminen tulisi aina tehdä suunnitelmallisesti sekä ammattilaisen avulla, jotta voidaan minimoida liian alhaisesta energiansaataavuudesta aiheutuvat terveyshaitat. Energiansaataavuuden määrittämiseen olisi hyvä saada standardoitua jokin tietty mittausten menetelmä, jotta tutkimukset aiheesta olisivat vielä yhdenmukaisempia ja sovellettavissa keskenään. Ennen kaikkea urheilijoiden ja valmentajien ravitsemustietämystä tulisi jatkuvasti lisätä, jotta he tulisivat entistä tietoisemmiksi matalan energiansaataavuuden haitoista, ja voisivat ottaa tämän vielä paremmin huomioon päivittäisharjoittelussa.

LÄHTEET

- Ainsworth, B., Haskell, W., Herrmann, S., Meckes, N., Bassett, D., Tudor-Locke, C., Greer, J., Vezina, J., Whitt-Glover, M. & Leon, A. (2011). 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 43 (8), 1575-1581.
- Akbulut, G. & Rakicioglu, N. (2012). The effects of diet and physical activity on resting metabolic rate (RMR) measured by indirect calorimetry, and body composition assessment by dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). *Türkiye fiziksel tip ve rehabilitasyon dergisi* 58 (1), 1-8.
- Beermann, B., Lee, D., Almstedt, H. & McCormak, W. (2020). Nutritional intake and energy availability of collegiate distance runners. *Journal of the American College of Nutrition* 39 (8), 747-755.
- Burke, L., Millet, G. & Tarnopolsky, M. (2007). Nutrition for distance events. *Journal of Sport Sciences* 25 (1), 29-38.
- Camps, S., Verhoef, S. & Westerterp, K. (2013). Weight loss, weight maintenance, and adaptive thermogenesis. *The American journal of clinical nutrition* 97 (5), 990-994.
- Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N. & Roth-Yousey, L. (2006). Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Journal of the American Dietetic Association* 106 (6), 881-903.
- Day, J., Wengreen, H., Heath, E. & Brown, K. (2015). Prevalence of Low Energy Availability in Collegiate Female Runners and Implementation of Nutrition Education Intervention. *Sports Nutrition and Therapy* 1 (1).
- De Souza, M., Hontscharuk, R., Olmsted, M., Kerr, G & Williams, N. (2007). Drive for thinness score is a proxy indicator of energy deficiency in exercising women. *Appetite* 48 (3), 359-367.
- De Souza, M., Nattiv, A., Joy, E., Misra, M., Williams, N., Mallinson, R., Gibbs, J., Olmsted, M., Goolsby, M., Matheson, G. & Panel, E. (2014). 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of The Female Athlete Triad. *British Journal of Sports Medicine* 48 (4), 289-310.
- Deutz, R., Benardot, D., Martin, D. & Cody, M. (2000). Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32 (3), 659-668.

- Fullmer, S., Benson-Davies, S., Earthman, C., Frankenfield, D., Gradwell, E., Lee, P., Piemonte, T. & Trabulsi, J. (2015). Evidence analysis library review of best practices for performing indirect calorimetry in healthy non-critically ill individuals. *Journal of the Academy of nutrition and dietetics* 115 (9), 1417-1446.
- Goodwin, Y., Monyeki, M., Boit, M., Ridder, J., Toriola, A., Mwangi, F., Wachira, J. & Mwihiaki, M. (2014). Profile of the female athlete triad among elite Keenyan endurance athletes and non-athletes. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance* 20 (2), 610-625.
- Hall, J. E. & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14. painos. Philadelphia: Elsevier.
- Heikura, I. (2021). Suhteellinen energiavaje urheilussa. Teoksessa O, Ilander (toim.) *Liikuntaravitsemus 3.0*. Lahti: VK-kustannus, 17–41.
- Heydenreich, J., Kayser, B., Schutz, Y. & Melzer, K. (2017). Total energy expenditure, energy intake, and body composition in endurance athletes across the training season: a systematic review. *Sports medicine* 3 (1),
- Ilander, O. (2014a). Energia – Syö riittävästi! Teoksessa O, Ilander (toim.) *Liikuntaravitsemus – tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta*. Saarijärvi: VK-kustannus, 19–38.
- Ilander, O. (2014b). Hiilihydraatit – tehoa harjoitteluun, suorituskykyä kilpailuihin. Teoksessa O, Ilander (toim.) *Liikuntaravitsemus – tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta*. Saarijärvi: VK-kustannus, 135–188.
- Joosen, A. & Westerterp, K. (2006). Energy expenditure during overfeeding. *Nutrition & Metabolism* 3 (25).
- Kiebzak, G. M., Leamy, L. J., Pierson, L. M., Nord, R. H. & Zhang, Z. Y. (2000). Measurement precision of body composition variables using the lunar DPX-L densitometer. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry* 3(1), 35–41.
- Kinoshita, N., Uchiyama, E., Ishikawa-Takata, K., Yamada, Y. & Okuyama, K. (2021). Association of energy availability with resting metabolic rates in competitive female teenage runners: a cross-sectional study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 18 (1), 1-12.
- Lewiecki, E. & Borges, J. (2006). Bone density testing in clinical practice. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia* 50 (4), 586-595.

- Logue, D., Madigan, S., Delahunt, E., Heinen, M., McDonnell, S. & Corish, C. (2018). Low energy availability in athletes: a review of prevalence, dietary patterns, physiological health, and sport performance. *Sports medicine* 48, 73-96.
- Logue, D., Madigan, S., Melin, A., Delahunt, E., Heinen, M., McDonnell, S. & Corish, C. (2020). Low energy availability in athletes 2020: An updated narrative review of prevalence, risk, within-day energy balance, knowledge, and impact on sports performance. *Nutrients* 12 (3), 835.
- Loucks, A., Kiens, B. & Wright, H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of Sport Sciences* 29 (1), 7-15.
- Loucks, A. (2014). Energy and Energy availability. Teoksessa R, Maughan (toim.) *Sports nutrition*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 72-87.
- 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.
- Manner, L. (2021). Urheilijoiden ravitsemusvalmennus. Teoksessa O, Ilander (toim.) *Liikuntaravitsemus 3.0*. Lahti: VK-kustannus, 613–627.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. (2015). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance*. 8. painos. Baltimore: Wolters Kluwer Health.
- 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.org/10.1123/ijsnem.2018-0201
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Moller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., Sidemann, J. J., Aziz, M. & Sjodin, A. (2015a). Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 25 (5), 610-622. doi: 10.1111/sms.12261
- Melin, A., Tornberg, Å., Skouby, S., Moller, S., Faber, J., Sundgot-Borgen, J. & Sjodin, A. (2015b). Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 26 (9), 1060-1071.
- Mero, A. (2016a). Ravintovalmennus huippu-urheilussa: Johdanto ravinto-ohjelman laatimiseen huippu-urheilussa. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvalmennus*. Lahti: VK-kustannus, 177–195.
- Mero, A. (2016b). Ravintovalmennus huippu-urheilussa: Urheilijaesimerkkejä ravintovalmennuksesta. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen (toim.) *Huippu-urheiluvalmennus*. Lahti: VK-kustannus, 202–206.

- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A., Meyer, N., Sherman, R., Tenforde, A. S., Klungland Torstveit, M. & Budgett, R. (2018). International Olympic Committee (IOC) Consensus Statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2018 Update. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (4), 316-331.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Meyer, N., Sherman, R., Steffen, K., Budgett, R. & Ljungqvist, A. (2014). The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad – Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine* 48 (7), 491-497.
- Muia, E., Wright, H., Onywera, V. & Kuria, E. (2015). Adolescent elite Kenyan runners are at risk for energy deficiency, menstrual dysfunction, and disordered eating. *Journal of Sport Sciences* 34 (7), 598-606.
- Nattiv, A., Loucks, A., Manore, M., Sanborn, C., Sundgot-Borgen, J. & Warren, M. (2007). American college of sports medicine position stand. The Female Athlete Triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39 (10), 1867-1882.
- Naclerio, F., Moody, J. & Chapman, M. (2013). Applied periodization: a methodological approach. *Journal of Human Sport and Exercise* 8 (2), 350-366.
- Oshima, S., Miyauchi, S., Kawano, H., Ishijima, T., Asaka, M., Taguchi, M., Torii, S. & Higuchi, M. (2011). Fat-free mass can be utilized to assess resting energy expenditure for male athletes of different body size. *Journal of nutritional science and vitaminology* 57 (6), 394-400.
- Rosenbaum, M. & Leibel, R. (2010). Adaptive thermogenesis in humans. *International journal of obesity* 34 (1), 47-55.
- Rosenbaum, M. & Leibel, R. (2016). Models of energy homeostasis in response to maintenance of reduced body weight. *Obesity* 24 (8), 1620-1629.
- Schofield, K. L., Thrope, H. & Sims, S. T. (2019). Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental Physiology* 104 (4), 469-475.
- Speakman, J. & Selman, C. (2003). Physical activity and resting metabolic rate. *Proceedings of the nutrition society* 62 (3), 621-634.
- Staal, S., Sjödin, A., Fahrenholtz, I., Bonnesen, K. & Melin, A. K. (2018). Low RMR_{ratio} as a Surrogate Marker for Energy Deficiency, the Choice of Predictive Equation Vital for Correctly Identifying Male and Female Ballet Dancers at Risk. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (4), 412-418.

- Stellingwerff, T. (2018). Case study: Body Composition Periodization in an Olympic-Level Female Middle-Distance Runner Over a 9-Year Career. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (4), 428-433.
- Stellingwerff, T., Boit, M. & Res, P. (2007). Nutritional strategies to optimize training and racing in middle-distance athletes. *Journal of Sport Sciences* 25 (1), 17-28.
- Stellingwerff, T., Morton, J. & Burke, L. (2019). A Framework for Periodized Nutrition for Athletics. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29 (2), 141-151.
- Thomas, D. T., Erdman, K. A. & Burke, L. M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 116 (3), 501-528.
- Trexler, E., Smith-Ryan, A. & Norton, L. (2014). Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *Journal of the international society of sports nutrition* 11 (1).