

**MATALAN ENERGIANSAAATAVUUDEN JA KILPIRAUHASHORMONIEN
YHTEYDET NAISURHEILJOILLA**

Janna Virtanen

Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Syksy 2023

TIIVISTELMÄ

Virtanen, J. 2023. Matalan energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien yhteydet naisurheilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatintutkielma, 38 s.

Johdanto. Matalan energiansaataavuuden tilassa harjoituksen jälkeen elimistölle jäljelle jäävä energia on liian niukka takaamaan optimaalisen aineenvaihdunnan ja terveyden ylläpidon. Elimistö alkaa säädellä kulutustaan ja ohjaamaan energiaa sitä tarvitseville elimille muiden elinten sekä kudosten kustannuksella. Riittävä energiansaataavuus sekä optimaalinen kilpirauhashormonien toiminta ovat ehtona urheilijan suorituskyvyn ja palautumisen edistämisessä. Tämän tutkielman tarkoitus on selvittää, onko matala energiansaataavuus yhteydessä kilpirauhashormonipitoisuuksiin naisurheilijoilla.

Menetelmät. Tutkimusjoukko (n=61) koostui naisurheilijoista. Tutkittavat jaettiin ensimmäisessä tarkastelussa lajiryhmittäin kestävyysurheilijoihin (n=31) sekä palloilijoihin (n=30) ja toisessa tarkastelussa energiansaataavuuden tason mukaan matalan (n=11), kohtalaisen (n=33) ja optimaalisen (n=17) energiansaataavuuden ryhmiin. Tutkimusaineisto kerättiin poikkileikkausasetelmassa. Tutkittavilta kerättiin energiansaataavuuden määrittämistä varten neljän vuorokauden harjoitus- ja ruokapäiväkirjat. Kehon rasvaton massa mitattiin laboratorioolosuhteissa DXA-mittauksella. Trijodityroniini (VT3), tyroksiini (VT4) ja tyreotropiini (TSH) analysoitiin laskimoverinäytteestä.

Tulokset. Energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonein välillä ei havaittu merkitseviä korrelaatioita yhdenkään hormonin kohdalla koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa. Kestävyysurheilijoiden ryhmässä energiansaataavuus korreloi merkitsevästi VT3:n kanssa, muttei VT4:n tai TSH:n kanssa. Palloilijoiden ryhmässä ei havaittu merkitseviä korrelaatioita yhdenkään hormonin kohdalla. Energiansaataavuuden tason mukaan jaettujen ryhmien välillä ei havaittu merkitseviä eroja ryhmien kesken. Alhaisimmat VT3- ja VT4-arvot saatiin kohtalaisen energiansaataavuuden ryhmässä, ja alhaisimmat TSH-arvot matalan energiansaataavuuden ryhmässä. Korkeimmat arvot olivat kaikkien kolmen hormonin kohdalla optimaalisen energiansaataavuuden ryhmässä.

Pohdinta ja johtopäätökset. Kilpirauhashormonit voivat toimia yhtenä markkerina matalan energiansaataavuuden diagnostiikassa, mutta eivät yksinään kerro energiansaataavuuden tilasta. Poikkileikkausasetelman vuoksi johtopäätöksien tekeminen tuloksista on rajoittunutta. Hormoneita mitattaessa tulee myös huomioida urheilijan ja urheilemattomien erot vasteissa. Verimarkkereiden kanssa kyselylomakkeet, energiansaataavuuden laskennallisen arvioinnin sijaan, antavat objektiivisemmän kuvan urheilijan terveydentilasta.

Asiasanat: Energiansaataavuus, kilpirauhashormonit, naisurheilija

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	body mass index, kehonkoostumusindeksi
EA	energy availability, energiansaatavuus
FFM	fat free mass, rasvaton massa
FHA	functional hypothalamic amenorrea, hypotalamuksen toiminnallinen häiriö
HPT	hypothalamic pituitary thyroid -axis, hypotalamus-aivolisäke-kilpirauhanen- akseli
LCA	low carbohydrate availability, alhainen hiilihydraattien saatavuus
LEA	low energy availability, matala energiansaatavuus
MEA	moderate energy availability, kohtalainen energiansaatavuus
OEA	optimal energy availability, optimaalinen energiansaatavuus
REDS	relative energy deficiency in sports, suhteellinen energiavaje urheilussa
TSH	tyreotropiini
T3	trijodityroniini
T4	tyroksiini

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	MATALA ENERGIANSAAATAVUUS	3
2.1	Energiansaatavuuden mittausmenetelmät	3
2.2	Energiansaatavuuden raja-arvot	5
2.3	Matalan energiansaatavuuden esiintyvyys urheilijoilla.....	5
2.4	Matalaan energiansaatavuuteen johtavat riskitekijät.....	7
2.5	REDs-oireyhtymä matalan energiansaatavuuden seurauksena	8
3	KILPIRAUHASHORMONIT	11
3.1	Kilpirauhashormonien fysiologia ja tehtävät.....	11
3.2	Kilpirauhashormonien pitoisuudet	12
3.3	Kilpirauhashormonit ja urheilu.....	13
4	MATALAN ENERGIANSAAATAVUUDEN JA KILPIRAUHASHORMONIEN YHTEYDET URHEILJOILLA	15
4.1	Energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonien yhteyksiä selittävät tekijät	15
4.2	Matala energiansaatavuus ja kilpirauhashormonitasot urheilijoilla	16
5	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	18
6	TUTKIMUSMENETELMÄT	20
6.1	Tutkittavat.....	20
6.2	Tutkimusasetelma ja aineiston keräys	21
6.3	Aineiston analysointi	22
7	TULOKSET	24
7.1	Energiansaatavuus	24
7.2	Kilpirauhashormonit.....	25
7.3	Matala energiansaatavuus ja kilpirauhashormonit	26
8	POHDINTA.....	28

8.1 Matalan energiansaataavuuden esiintyvyys	28
8.2 Kilpirauhashormonitasot	29
8.3 Energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien yhteydet	30
8.4 Tutkimusmenetelmän arviointi.....	32
8.5 Johtopäätökset ja jatkotutkimus	36
LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Matalaa energiansaataavuutta (*low energy availability, LEA*) esiintyy naisurheilijoilla aiemman tutkimusnäytön mukaan 23–79,5 %. Matalan energiansaataavuuden esiintyvyys on keskimäärin naisurheilijoilla hieman miesurheilijoita yleisempää. (Mountjoy ym. 2023) Riskiryhmään kuuluvat erityisesti kestävyyslajit (Logue ym. 2020). Jagimin ym. (2022) mukaan riskilajeja kestävyyslajien lisäksi ovat myös esteettiset lajit, painoluokkalajit sekä palloilijat. Matalan energiansaataavuuden esiintyvyyden suuri vaihteluväli tutkimuksissa johtuu muun muassa tutkimuksissa käytettyjen menetelmien eroavaisuuksista, käsitteiden sekoittumisesta sekä virheistä energiansaataavuuden arvioinnissa (Mountjoy ym. 2023).

Matalan energiansaataavuuden taso voidaan jakaa sopeutuvan LEAn (*adaptable LEA*) ja ongelmallisen LEAn (*problematic LEA*) tasoille. Sopeutuneen LEAn tasolla fysiologiset muutokset tukevat evolutiivista selviytymistä ja lisääntymiskykyä alentamalla biologisia prosesseja, jotka ovat tilapäisesti tarpeettomia tai vähennettävissä. Nämä muutokset kertovat ihmiskehon fysiologisesta plastisuudesta ja näitä muutoksia voidaan pitää lievinä ja/tai ohimenevinä. Ongelmallisen LEAn tasolla esiintyvät muutokset ovat puolestaan haitallisia hyvinvoinnille, terveydelle ja suorituskyvylle. (Mountjoy ym. 2023)

Pitkään jatkuneena matala energiansaataavuus voi aiheuttaa laaja-alaisesti erilaisia fysiologisia ja psykologisia muutoksia elimistössä, ja urheilijalle voi kehittyä suhteellisen energiavajeen oireyhtymä (*Relative Energy Deficiency in Sports, REDs*). Muutoksista voi seurata haittaa niin terveydelle, hyvinvoinnille kuin urheilijan suorituskyvyllekin, jolloin puhutaankin ongelmallisen LEAn tasosta. (Mountjoy ym. 2023) Hormonitoiminnan muutokset ovat yksi merkki kehon sopeutumisesta matalaan energiansaataavuuteen. Aiempien tutkimusten mukaan matalan energiansaataavuuden on havaittu laskevan muun muassa sukupuolihormonien, kasvuhormonien ja kilpirauhashormonien pitoisuuksia. (Dipla ym. 2021)

Tutkimus matalan energiansaataavuuden vaikutuksista on lisääntynyt viimeisten vuosien aikana merkittävästi. Mountjoyn ym. (2023) mukaan edellisen Kansainvälisen Olympiakomitean antaman konsensuslausunnon, joka julkaistiin vuonna 2018, jälkeen aiheesta on tehty jopa yli 170 uutta tutkimusjulkaisua, joiden tutkittavista 80 % oli naisia. Ongelmana tutkimuskentällä on energiansaataavuuden arviointiin liittyvä virhealttius. Energiansaataavuuden laskennallinen määrittäminen on kuitenkin resurssiystävällistä, minkä vuoksi sitä käytetään tutkimuksissa

edelleen. (Heikura ym. 2018) Energiansaataavuuden laskennallisen arvioinnin sijaan on kyselylomakkeiden ja verimuuttujien, kuten hormonien, mittaamisen todettu antavan objektiivisemmän ja luotettavamman arvion urheilijan terveydentilasta. Kilpirauhashormoneista trijodityroniini on yleisin mitattava muuttuja energiensaataavuutta koskevissa tutkimuksissa. Tyreotropiinista ja tyrokseenista tutkimustietoa on vähemmän ja tulokset ovat epä johdonmukaisia. (Areta ym. 2021)

Kilpirauhashormonien tärkein tehtävä on aineenvaihdunnan kiihdyttäminen, minkä vuoksi niiden pitoisuuksien muutokset voivat selittää elimistön aineenvaihdunnallisen tilan muutoksia (Guyton & Hall 2020, 941–944). Aineenvaihdunnan optimaalinen toiminta on urheilijan terveyden, suorituskyvyn ja palautumisen kannalta oleellinen tekijä (Loucks ym. 2011), minkä vuoksi kilpirauhashormonit ovat hyödyllinen muuttuja urheilijan terveydentilan seuraamisessa.

Tämän tutkielman tarkoituksena on kartoittaa matalan energiensaataavuuden esiintyvyyttä sekä kilpirauhashormonien tasoja naisurheilijoilla. Matalan energiensaataavuuden esiintyvyys on määritelty ruoka- ja harjoituspäiväkirjoja hyödyntäen. Tarkastelussa olevat hormonit ovat trijodityroniini (T3), tyrokseeni (T4) ja tyreotropiini (TSH). Lisäksi tarkoituksena on selvittää matalan energiensaataavuuden ja kilpirauhashormonitasojen välisiä yhteyksiä naisurheilijoilla.

2 MATALA ENERGIANSAAATAVUUS

Energiansaatavuus (*energy availability, EA*) määritetään vähentämällä ravinnosta saadusta energiasta (*energy intake, EI*) harjoitukseen kulutettu energia (*exercise energy expenditure, EEE*). Harjoituksen jälkeen jäljellä oleva energiamäärä käytetään muihin elimistön aineenvaihduntaprosesseihin. Matalan energiansaatavuuden (*low energy availability, LEA*) tilassa elimistölle jäljelle jäävä energia harjoituksen jälkeen on liian niukka takaamaan optimaalisen aineenvaihdunnan ja terveyden ylläpidon. Tällöin elimistö alkaa säädellä kulutustaan ja ohjaamaan energiaa sitä tarvitseville elimille, kuten sydämelle, keuhkoille ja aivoille, muiden elinten sekä kudosten kustannuksella. (Loucks ym. 2011)

Energiansaatavuus lasketaan kilokaloreina per kehon rasvaton massakilo vuorokaudessa (kcal/kgFFM/vrk). Energiansaatavuuden määrittämistä havainnollistaa tämän kappaleen alla esitetty kaava. Tarvittavat muuttujat, joita ovat energiankulutus, energiansaanti ja kehon rasvaton massa, saadaan arvioitua esimerkiksi harjoitus- ja ruokapäiväkirjan sekä kehonkoostumusmittauksen avulla. (Loucks ym. 2011) Ihanteellisessa tilanteessa ruoka- ja harjoituspäiväkirja on kerätty samanaikaisesti (Burke ym. 2001). Seuraavaksi käsitellään energiansaatavuuden määrittämiseen käytettäviä menetelmiä tarkemmin.

Energiansaanti (EI) - Harjoituksen aikainen energiankulutus (EEE)

Kehon rasvaton massa (FFM)

2.1 Energiansaatavuuden mittausmenetelmät

Energiansaatavuutta mitattaessa tarvitaan tieto nautitusta energiamäärästä ja harjoituksen aikaisesta energiankulutuksesta sekä rasvattomasta kehon massasta. Ravinnosta saatu energia saadaan arvioitua henkilön täyttämän ruokapäiväkirjan avulla. (Loucks ym. 2011) Tällainen kenttäperusteinen lähestymistapa energiansaantiin arvioi päivittäisen kokonaisenergiansaannin kilokaloreina vuorokautta kohden (kcal/vrk). Todenmukaisimman tuloksen saa yleensä 4–7 vuorokauden ruokapäiväkirjasta. Ruokapäiväkirjaa täyttäessä tulisi suosia punnittuja ruokatietoja epämääräisten annoskokojen sijaan. Lisäksi tutkittava tulisi ohjeistaa mahdollisimman hyvin, jotta välttyään mahdollisilta tallennusvirheilä. Ruokapäiväkirjaan

tallennetut tiedot syötetään analysointiohjelmaan, joka laskee päivittäisen energiansaannin ja useimmiten myös ravintoainejakauman. Ali- ja yliportointi ovat kuitenkin yleisiä, mikä heikentää tämän menetelmän luotettavuutta. (Heikura ym. 2018)

Harjoitukseen kulutettu energiamäärä saadaan harjoituspäiväkirjan avulla (Loucks ym. 2011). Teknologiaa, kuten sykemittareita, voidaan käyttää apuna arvioinnissa. Sykkeeseen perustuvat EEE:n arviointikaavat hyödyntävät tietoa siitä, että sykkeen ja hapenkulutuksen välillä on lineaarinen yhteys, etenkin keskitehoisilla kuormilla. Lineaarinen yhteys löytyy myös hapenkulutuksella ja energiankulutuksella, minkä vuoksi sykettä voidaan hyödyntää EEE:n arvioinnissa. EEE:n määrittämiseen tarvittavat tiedot ovat harjoituksen aikainen keski- ja maksimisyke sekä harjoituksen kesto. Huomioitavaa on, että tulokset ovat vain arvioituja ja kohtalaisen luotettavia ryhmätasolla, mutta yksilötasolla arvioitu ja todellinen EEE voivat poiketa merkittävästi toisistaan. (Charlot ym. 2014)

EEE:tä voidaan arvioida myös ilman syketietoja metabolisen ekvivalentin (*metabolic equivalent, MET*) avulla. MET-kertoimet perustuvat myös hapenkulutuksen ja energiankulutuksen lineaariseen suhteeseen. MET-kertoimen avulla kuvataan, kuinka moninkertaisesti fyysinen harjoitus ylittää lepoenergiankulutuksen (3,5 ml/kg/min). On olemassa muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat energiankulutuksen tasoon, joita MET-menetelmä ei huomioi. Näitä muuttujia ovat esimerkiksi ympäristötekijät, kuten kuumuus, kylmyys ja maasto, tilannetekijät, kuten kilpailu- ja harjoitustilanne, varustuksen määrä sekä kehon rasvattoman massan määrä. (Jette ym. 1990)

Energiansaannin ja -kulutuksen lisäksi energiansaatavuuden määrittämiseen tarvitaan tieto kehonkoostumuksesta. Tarkemmin EA:n määrittämiseen tarvitaan tieto kehon rasvattomasta massasta (*fat free mass, FFM*), joka voidaan mitata DXA-mittauksella (*Dual Energy X-Ray Absorptiometry*), bioimpedanssimittarilla, pihtimittauksella tai vedenalaispunnituksella. Laboratorio-olosuhteissa mitattavat vedenalaispunnituksen ja DXA-mittauksen tulokset ovat arvioitu todennukaisemmaksi kuin bioimpedanssimittarin tai pihtimittauksen. Bioimpedanssi- ja pihtimittaukset ovat puolestaan taloudellisempia ja vaivattomampia menetelmiä. (Acland ym. 2012)

2.2 Energiansaataavuuden raja-arvot

Laboratorio-olosuhteissa on määritelty tietyt raja-arvot matalalle, kohtalaiselle sekä optimaaliselle energiansatavuudelle (taulukko 1). Optimaalinen energiansaataavuus (*optimal energy availability, OEA*) naisilla on noin 45 kcal/kgFFM/vrk ja miehillä noin 40 kcal/kgFFM/vrk. (Heikura 2021, 17) Ero sukupuolien välillä johtuu naisten suuremmasta energiantarpeesta hormonitoiminnan ylläpitoon, joka toimii edellytyksenä lisääntymiselle ja raskaudenaikaiselle sikiönkehitykselle (Bronson 1985). Kohtalainen energiansaataavuus (*moderate energy availability, MEA*) on naisilla noin 30–45 kcal/kgFFM/vrk ja miehillä noin 25–40 kcal/kgFFM/vrk. Matalasta energiansaataavuudesta puhutaan, kun EA on naisilla alle 30 kcal/kgFFM/vrk ja miehillä alle 25 kcal/kgFFM/vrk. (Heikura 2021, 17)

TAULUKKO 1. Naisille ja miehille määritetyt matalan, kohtalaisen ja optimaalisen energiansaataavuuden raja-arvot. (Mukailtu Heikura 2021, 17)

	Matala energiansaataavuus	Kohtalainen energiansaataavuus	Optimaalinen energiansaataavuus
Naiset	< 30 kcal/kgFFM/vrk	~ 30–45 kcal/kgFFM/vrk	~ 45 kcal/kgFFM/vrk
Miehet	< 25 kcal/kgFFM/vrk	~ 25–40 kcal/kgFFM/vrk	~ 40 kcal/kgFFM/vrk

kcal/kgFFM/vrk, kilokaloria per kehon rasvaton massakilo vuorokaudessa.

On huomioitava, että raja-arvot ovat määritetty harjoittelemattomille henkilöille laboratorio-olosuhteissa, eivätkä tämän vuoksi ole täysin sovellettavissa esimerkiksi urheilijoille. Raja-arvojen sovellettavuus myös laboratorio-olosuhteiden ulkopuolelle on kyseenalaista. (Heikura 2021, 17) Tämän vuoksi raja-arvoja tulisi käyttää vain suuntaa antavina ohjeina tarkkojen lukujen sijaan. (Mountjoy ym. 2023)

2.3 Matalan energiansaataavuuden esiintyvyys urheilijoilla

Matalaa energiansaataavuutta voi esiintyä kenellä tahansa harjoittelusta riippumatta. Martinsenin ja Sundgotin (2013) mukaan energiavajeen esiintyvyys on urheilijoilla yleisempää kontrolliryhmään verrattuna, kun taas Hoch ym. (2009) eivät havainneet eroja LEAn esiintyvyydessä urheilijoiden ja kontrolliryhmän välillä. Akrobatiavoimistelijoilla toteutetussa

tutkimuksessa havaittiin nuorten naisten ja miesten EA:n olevan keskimäärin huomattavasti alhaisempaa tutkittaviin lapsiin verrattuna (Silva ym. 2018).

Urheilijoilla tehdyissä tutkimuksissa matalan energiansaataavuuden esiintyvyys vaihtelee paljon, mutta esiintyvyys naisurheilijoiden keskuudessa on keskimäärin miesurheilijoita yleisempää (Mountjoy ym. 2023). Loguen ym. (2020) katsauksessa LEAn esiintyvyys urheilijoilla vaihtelee 22–58 % välillä ja Mountjoyn ym. (2023) mukaan vaihteluväli naisurheilijoilla on 23–79,5 %. LEAn esiintyvyyden tarkka määrittäminen on vaikeaa, sillä menetelmät EA:n arvioinnissa vaihtelevat, mikä voi olla selittävä tekijä suurelle vaihteluvälille (Logue ym. 2020). Sundgot-Borgen ja Torstveit (2010) ovat myös todenneet LEAn esiintyvyyden olevan yleisempää naisurheilijoilla. Yhtenä selittävänä tekijänä LEAn esiintyvyyden eroavaisuuksille sukupuolten välillä voidaan pitää tutkimusten painottumista naisurheilijoihin. Vasta vuonna 2014 syntyi molempia sukupuolia koskeva REDs-käsite, joka kattaa laaja-alaisesti pitkään jatkuneen LEAn aiheuttamat vasteet niin naisilla kuin miehillä. Miehistä on yksinkertaisesti edelleen vähemmän tutkimusta, ja LEAn vasteita miehillä ei tunneta yhtä hyvin kuin naisilla. (Mountjoy ym. 2014) Taustalla on kuitenkin myös fysiologinen selitys. Selittävänä tekijänä pidetään naisten hormonitoiminnan herkempää reagoitua energiavajeeseen (Bronson 1985), mikä näkyy myös sukupuolikohtaisesti määritellyissä EA:n raja-arvoissa (Heikura 2021, 17).

Sundgot-Borgenin ja Torstveitin (2010) mukaan LEAn esiintyvyys on yleisintä keski- ja pitkänmatkan kestävyysurheilijoilla sekä hyppylajeissa. Taulukkoon 2 on koottu yhteenveto LEAn esiintyvyyttä mittaavista tutkimuksista, ja taulukon mukaan LEAn esiintyvyys kestävyysurheilijoilla ei eroa merkittävästi muihin lajeihin verrattuna. Keski- ja pitkänmatkan kestävyysurheilijoille tehdyssä tutkimuksessa Heikura ym. (2018) havaitsivat LEAn 31 %:lla naisista ja 25 %:lla miehistä. Melinin ym. (2015) tutkimuksessa LEA todettiin 63 %:lla naiskestävyysurheilijoista. Koehler ym. (2013) puolestaan havaitsivat 352 tutkittavan tutkimuksessa LEAn esiintyvyyden olevan tutkittavilla miehillä (58 %) yleisempää kuin naisilla (51 %). Tutkittavat oli jaettu ryhmiin, joita olivat esteettiset lajit, palloilu, kestävyys, mailaurheilu, vesiurheilu, painoluokkalajit sekä muut urheilulajit. Miesurheilijoiden keskimääräinen EA oli alhaisin painoluokkalajeissa ja korkein muiden urheilulajien ryhmässä. Naisilla alhaisin keskimääräinen EA oli mailaurheilijoilla, ja vastoin monen muun tutkimuksen tuloksia korkein EA todettiin kestävyysurheilijoilla. Naisjalkapalloilijoilla (n=30) toteutetussa tutkimuksessa 53 %:lla havaittiin LEA (Braun ym. 2018). Samankaltaisia tuloksia saatiin myös

Costan ym. (2019) tutkimuksessa. Taitouimareilla (n=21) toteutetussa tutkimuksessa 52 %:lla havaittiin LEA, 38 % kohtalainen EA ja vain 9,5 %:a tutkittavista ylsi optimaalisen EA:n tasolle.

TAULUKKO 2. Matalan energiansaataavuuden esiintyvyys tutkimuksissa.

Tutkimus	Tutkittavat (n)	Laji	LEA (%)
Braun ym. (2018)	N: 30	Jalkapallo	53 %
Costa ym. (2019)	N: 21	Taitouinti	52 %
Heikura ym. (2018)	N: 35	Kestävyysjuoksu ja -kävely	N: 31 %
	M: 24		M: 25 %
Koehler ym. (2013)	N: 185	Kaikki	N: 51 %
	M: 167		M: 58 %
Magee ym. (2020)	N: 18	Jalkapallo	57 %
Melin ym. (2015)	N: 40	Kestävyysjuoksu	63 %

LEA, low energy availability, matala energiansaataavuus; N, naiset; M, miehet.

2.4 Matalaan energiansaataavuuteen johtavat riskitekijät

Liian alhaiseen energiansaantiin on monia syitä ja ne voivat olla joko tiedostettuja tai tiedostamattomia. Urheilijoilla LEA aiheutuu usein kasvaneesta harjoitusmäärästä, vähentyneestä energiansaannista tai näiden yhteisvaikutuksesta (Loucks ym. 1998). Kovantehoisen harjoittelun ja suuren kuormituksen määrän on havaittu heikentävän ruokahalua, mikä aiheuttaa haasteita urheilijalle riittävän energiansaataavuuden saavuttamiseksi (Loucks ym. 2011). Etenkin naisurheilijoilla runsas kuitu, kasviproteiinin saanti ja niukkaenergisten ruokien runsas käyttö on liitetty LEAan (Barron ym. 2016). LEAn yhteydessä voi esiintyä myös syömishäiriöitä, ja ne ovatkin yksi vakavimmista LEAn taustasyistä. Melinin ym. (2015) tutkimuksessa 63 % naiskestävyysurheilijasta (n=40) kärsi matalasta energiansaataavuudesta, mutta syömishäiriöön viittaavia oireita esiintyi kaikista urheilijoista vain neljäsosalla. LEAsta kärsivistä urheilijoista 50 %:lla todettiin syömishäiriö. (Melin ym. 2015)

Heikura ym. (2021) nostavat myös loukkaantumiset yhdeksi LEAn riskitekijäksi. Heikuran ym. (2021) mukaan urheilijat saattavat pyrkiä syömään vähemmän harjoitus- ja kilpailutauon

aiheuttaman alentuneen energiankulutuksen vuoksi. Liika energiansaannin alentaminen tällaisessa tilanteessa ei kuitenkaan ole suotavaa, sillä niukka energiansaanti hidastaa kuntoutumisprosessia (Tipton 2015). Muita LEAn riskitekijöitä voi Burken ym. (2018) mukaan olla urheilijoiden epätietoisuus sopivasta energiansaannista sekä taloudelliset ja ajankäytölliset syyt, etenkin opiskelevien ja työssäkäyvien keskuudessa.

2.5 REDs-oireyhtymä matalan energiansaatavuuden seurauksena

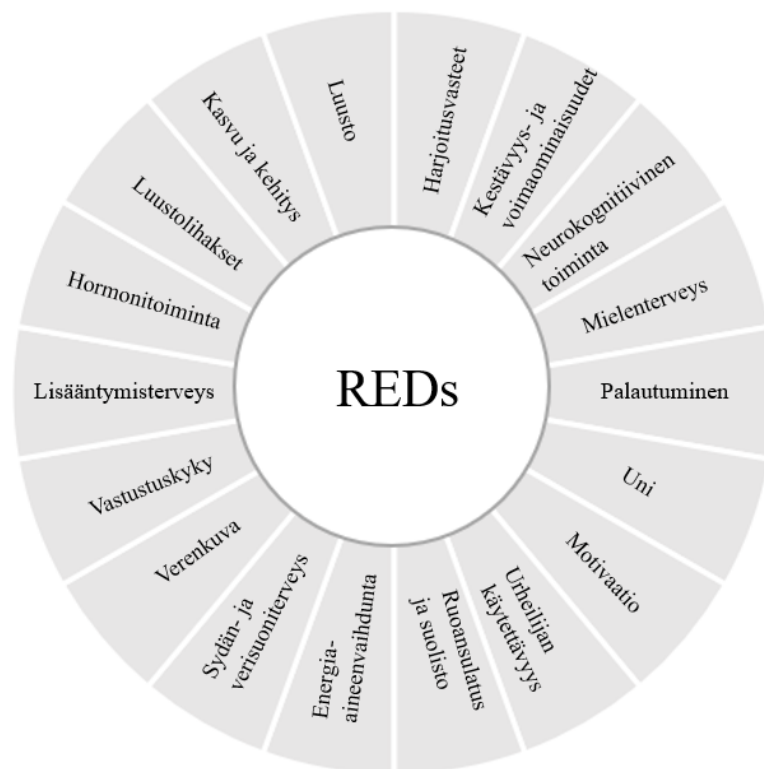
Matalan energiansaatavuuden negatiiviset seuraukset voivat kohdistua laaja-alaisesti koko ihmisen elimistöön, sen terveyteen ja toimintakykyyn. Tutkimuksissa on havaittu jo lyhyenkin energiavajeen aiheuttavan negatiivisia muutoksia muun muassa hormonitoimintaan. (Areta ym. 2021) Terveillä nuorilla aikuisilla naisilla jo viiden päivän ajan EA alle 30 kcal/kgFFM/vrk on havaittu vähentävän verensokeritasoja ja siten hiilihydraattien saatavuutta sekä hypotalamus-aivolisäke-akselin hormonien, kuten trijodityroniinin (T3), laskua (Loucks & Thuma 2003). Schaal ym. (2021) mukaan yksilöiden välillä on kuitenkin paljon eroja energiavajeeseen sopeutumisessa. Heidän tutkimuksessaan nimittäin havaittiin useiden kestävyysjuoksijanaisten ylläpitävän energiansaatavuutta alle 30 kcal/kgFFM/vrk ilman häiriöitä kuukautiskierrossa. Mountjoy ym. (2023) ehdottavatkin, että energiansaatavuuden raja-arvoja ei pidettäisikään absoluuttisina kynnyksinä vaan ennemmin suuntaa antavina linjoina.

Pidempään jatkuneena matala energiansaatavuus voi johtaa suhteellisen energiavajeen oireyhtymään urheilijoilla (*Relative Energy Deficiency in Sports, REDs*). REDs-käsite luotiin täyttämään ”naisurheilijoiden oireyhtymä”-käsitteen (*female athlete triad*) rajallisuudet sekä kattamaan monipuolisemmin ja laajemmin LEAsta johtuvat seuraukset. REDs-käsite huomioi LEAn mahdollista esiintyvyyttä naisurheilijoiden lisäksi myös miesurheilijoilla. REDs-oireyhtymässä esiintyy useiden fysiologisten toimintojen heikentymistä, joilla on vaikutusta niin terveyteen kuin suorituskykyyn. Tutkimustieto REDsistä lisääntyy jatkuvasti ja uusimman REDs-lausuntonsa Kansainvälinen Olympiakomitea (*International Olympic Committee, IOC*) on julkaissut vuonna 2023. (Mountjoy ym. 2023)

LEAn taso voidaan jakaa sopeutuneeseen LEAan (*adaptable LEA*) ja ongelmalliseen LEAan (*problematic LEA*). Sopeutuneen LEAn tasolla fysiologiset muutokset tukevat evolutiivista selviytymistä ja lisääntymiskykyä alentamalla biologisia prosesseja, jotka ovat tilapäisesti

tarpeettomia tai vähennettävissä. Nämä muutokset kertovat ihmiskehon fysiologisesta plastisuudesta ja näitä muutoksia voidaan pitää lievinä ja/tai ohimenevinä. Ongelmallisen LEAn tasolla esiintyvät muutokset ovat puolestaan haitallisia hyvinvoinnille, terveydelle ja suorituskyvyllä. (Mountjoy ym. 2023)

REDs-oireyhtymän vaikutukset terveyteen ja suorituskykyyn on esitetty kuvassa 1. REDs-oireyhtymässä LEAn vasteena aineenvaihdunta hidastuu ja hormonitoiminta häiriintyy. Katabolisten hormonien erityis lisääntyy ja anabolisten hormonien erityis vähenee. Sukupuolihormonien, kuten estrogeenien, tuotanto vähenee, minkä vuoksi kuukautiskierron häiriöt ovat yleisiä naisilla, joilla energiansaatavuus on alhaista. Muita terveydellisiä haittavaikutuksia ovat vastustuskyvyn heikkeneminen, sydän- ja verenkiertoelimistön muutokset, veren kuvan muutokset sekä ruoansulatuksen toiminnan heikentyminen. Lisäksi aineenvaihdunnassa ja hormonitoiminnassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat heikentävästi luuston terveyteen sekä kasvuun ja kehitykseen. Vaikutukset eivät rajoitu vain fysiologisiin muutoksiin vaan myös psyykkisessä toiminnassa voi esiintyä häiriöitä. Psykologiset häiriöt voivat olla joko syy tai seuraus REDs-oireyhtymästä. (Mountjoy ym. 2023)



KUVA 1. REDs-oireyhtymän vaikutukset terveyteen ja suorituskykyyn. (Mukailtu Mountjoy ym. 2023)

Suorituskyvyssä näkyviä REDs-oireita ovat heikentyneet harjoitusvasteet, heikentyneet kestävyys- ja/tai voimaominaisuudet, alentuneet glykogeenivarastot sekä heikentynyt koordinaatiokyky. Lisäksi REDs vaikuttaa suorituskykyyn kognitiivisten ominaisuuksien kautta, kuten heikentämällä keskittymis- ja päätöksentekokykyä. Mielialassa näkyviä oireita ovat puolestaan lisääntynyt ärtyneisyys, alhainen motivaatio sekä masennus. REDs-oireyhtymän myötä unen laatu ja palautuminen heikkenevät sekä vammariski kasvaa. Kaikkien näiden ongelmien seurauksena urheilijalla on vähemmän terveitä harjoitus- ja kilpailupäiviä sekä tämän kyky osallistua tapahtumiin harvenee. (kuva 1) (Mountjoy ym. 2023)

3 KILPIRAUHASHORMONIT

Kilpirauhanen on noin 15–20 grammaa painava umpirauhanen, joka sijaitsee kurkunpään alapuolella, henkitorven alaosan lähellä. Kilpirauhanen erittää kahta kilpirauhashormonia trijodityroniinia (T3) ja tyroksiinia (T4) sekä kalsiumaineenvaihduntaan osallistuvaa hormonia kalsitoniinia. Kilpirauhashormonit ovat välttämättömiä hormoneja kasvulle ja kehitykselle, etenkin aivojen ja luuston kohdalla. (Guyton & Hall 2020, 941–949) Kilpirauhashormonien erittymistä säätelee aivolisäkkeestä erittyvä hormoni tyreotropiini (TSH). Säätelystä keskeisiä muita vaikuttajia tekijöitä ovat nälkä- ja kylläisyshormonit, kuten leptiini. (Mullur ym. 2014)

Hypotalamus–aivolisäke–kilpirauhanen-akseli eli HPT-akseli (*hypothalamic pituitary thyroid axis, HPT*) on yksi ihmiskehon endokriinisista järjestelmistä, ja toimii palautejärjestelmämekanismilla. Hypotalamus on väliaivojen pohjaosassa sijaitseva aivojen osa ja aivolisäke on hyvin pienikokoinen keskellä päätä sijaitseva rauhanen. Hypotalamus kytkeytyy aivolisäkkeeseen ja ohjaa tämän etuosan hormonieritystä vapauttavien hormonien avulla. HPT-akselin kohdalla tämä hypotalamuksesta erittyvä vapauttava hormoni on tyreoliberiini (TRH). TRH kiihdyttää aivolisäkkeen etuosan tyreotropiinin (TSH) eritystä, mikä puolestaan kiihdyttää kilpirauhasen hormonieritystä. (McArdle ym. 2015, 419–421)

3.1 Kilpirauhashormonien fysiologia ja tehtävät

Kilpirauhashormonit ovat tyrosiinijohdannaisia hormoneja, joiden muodostus vaatii jodia. Tyroksiini (T4) koostuu kahdesta diiodityrosiinista ja trijodityroniini (T3) koostuu yhdestä monojodityrosiinista ja yhdestä diiodityrosiinista. Kilpirauhashormonit kulkeutuvat veressä kuljettajaproteiineihin sitoutuneena. Sidos on vahva, minkä vuoksi hormonit vapautuvat hitaasti kohdekudoksiin. Kilpirauhashormonit säilyvät kohdesoluissaan ja ne voidaan käyttää hiljalleen, joten niiden pitoisuuksien muutoksetkin tapahtuvat melko hiljalleen. Kilpirauhashormonit kuuluvat rasvaliukoisiin hormoneihin, ja läpäistyään solukalvon, ne sitoutuvat ensisijaisesti tuman reseptoreihin. (Mullur ym. 2014)

Kilpirauhashormonien pääasiallinen tehtävä on aineenvaihdunnan kiihdyttäminen. Kilpirauhashormonit aktivoivat useiden geenien transkriptiota ja saavat mitokondrioiden määrän sekä aktiivisuuden kasvamaan, minkä seurauksena kyseisen kudoksen aineenvaihdunta

kasvaa. Ne kiihdyttävät glykogenolyysiä ja glykolyysiä sekä edistävät glukoosin imeytymistä soluihin. Ne kiihdyttävät rasva-aineenvaihduntaa ja entsyymien aktiivisuutta sekä nostavat vitamiinien tarvetta. Näiden kaikkien vaikutusten seurauksena lepoaineenvaihdunta kasvaa. Kilpirauhashormoneilla on vaikutusta myös verenkierto- ja hengityselimistöön. Ne kiihdyttävät verenkiertoa, nostavat sydämen minuuttitilavuutta (Q) sekä sykettä (HR). Ne myös nostavat systolista ja laskevat diastolista verenpainetta. Hengityselimistöön ne vaikuttavat hengitystiheyttä ja hengityksen syvyyttä nostaen. Muita vaikutuksia kilpirauhashormoneilla on muun muassa keskushermoston toimintaan sekä muiden umpirauhasten toimintaan. (Guyton & Hall 2020, 941–949)

3.2 Kilpirauhashormonien pitoisuudet

Kilpirauhanen erittää tyroksiinia ja trijodityroniinia 93–7 %:n suhteessa. Eritetty T4 muokataan kudoksissa dejodinaasi-entsyymien (D2) avulla lopulta T3:ksi, sillä T3:n vaikutukset ovat nelinkertaiset T4:een verrattuna. T3 säilyy veressä lyhyemmän ajan, minkä vuoksi sen pitoisuus on pienempi. Suurin osa käytettävästä kilpirauhashormonista kudoksissa on T3-hormonia, jota erittyy noin 35 µg:a vuorokaudessa. Kilpirauhashormoneja mitattaessa käytetään VT3- ja VT4-arvoja, joissa V tarkoittaa ”vapaata”. Vain pieni osa hormonista kulkee veressä vapaana, mutta ainoastaan silloin se kykenee hoitamaan hormonin tehtäviä ja on niin sanotusti aktiivisessa muodossaan. (Guyton & Hall 2020, 941–944) Kilpirauhashormonien viitearvot vaihtelevat hieman lähteestä riippuen. HUSLABin mukaan VT4:n viitearvot yli 18-vuotiailla ovat 11–23 pikomoolia litrassa (pmol/l), VT3:n viitearvot 2,6–6,3 pmol/l ja TSH:n viitearvot 0,5–4 milliyksikköä litrassa (mU/l) (15–59-vuotiailla).

Kilpirauhasen toiminta voi olla myös häiriintynyt, mikä voi näkyä viitearvojen ulkopuolisina pitoisuuksina. Vajaatoiminnassa kilpirauhashormonitasot ovat alhaiset. Vajaatoiminnan oireita ovat hidastunut aineenvaihduntanopeus, heikentynyt kylmänsietokyky, heikentyneet kynnet, ohenevat hiukset, kuiva iho, heikentynyt refleksitoiminta, alhaiset puhe- ja ajatusprosessit, väsymyksen tunne sekä matala syke. Liikatoiminnassa kilpirauhanen toimii yliaktiivisesti ja oireet ovat pääosin vastakkaisia vajaatoimintaan verrattuna. Liikatoiminnan oireita ovat lisääntynyt hapenkulutus ja metabolinen lämmöntuotto, lisääntynyt proteiinisynteesi, laihtuminen, kiihtynyt refleksiaktiivisuus, psyykkiset häiriöt sekä kohonnut syke. (Guyton &

Hall 2020, 950–952) Häiriintyneessä tilassa naisilla saattaa esiintyä myös kuukautiskierron häiriöitä tai jopa kokonaan niiden poisjäämistä (*amenorrea*), sillä kilpirauhashormonit ovat yhteydessä muihin umpirauhasiin ja niiden hormoneihin, kuten sukupuolihormoneihin (Mullur ym. 2014).

3.3 Kilpirauhashormonit ja urheilu

Fyysisen kuormituksen vaikutuksia kilpirauhashormonien aineenvaihduntaan ei vielä täysin tunneta. Tutkimusten mukaan kilpirauhasen toiminta riippuu jossain määrin harjoituksen intensiteetistä ja muista, kuten urheilijoiden yksilöllisistä, tekijöistä. (Ciloglu ym. 2005) Harjoituksen intensiteetti vaikuttaa harjoituksen aikaiseen energiankulutukseen, ja tämän on havaittu olevan oleellinen kilpirauhasen toiminnan kannalta (Nicoll ym. 2018). Miesurheilijoilla toteutetussa tutkimuksessa todettiin anaerobisella kynnyksellä (70 % HRmax) suoritettun harjoittelun aiheuttavan merkittävimmät muutokset kilpirauhashormonipitoisuuksissa. Tutkimuksen mukaan T4:n, VT4:n ja TSH:n nousu jatkui kevyestä intensiteetistä (45 % HRmax) korkeaan intensiteettiin (90 % HRmax) asti, mutta T3:n ja VT3:n pitoisuudet alkoivat laskea anaerobisen kynnyksen (70 % HRmax) jälkeen. Arkader ym. (2016) mukaan TSH:n pitoisuus saattaa pysyä lepotasoa korkeammalla jopa useita päiviä fyysisen suorituksen jälkeen.

Hormonitasojen muutoksia harjoituksen seurauksena on perusteltu kehon tarpeella lisätä aineenvaihduntaa (Arkader ym. 2016). Kaikilla tämä mekanismi ei toimi. Tutkimuksissa on havaittu, että ylikuormittuneella urheilijalla elimistön reagointi akuutteihin tilanteisiin, kuten akuuttiin stressiin, saattaa olla heikentynyt, eikä kilpirauhashormonitasot nouse toivotulla tavalla. Kilpirauhashormonien lepotasossa ei välttämättä näy epänormaaleja muutoksia, sillä elimistö on urheilun myötä sopeutunut äärimmäisiin olosuhteisiin, ja pyrkii säilyttämään homeostaasin mahdollisimman hyvin. (Cadegiani & Kater 2017, 11–12) Reaktiot myös harjoitelleiden ja harjoittelemattomien välillä eroavat toisistaan. Tässä selittävänä tekijänä pidetään mahdollisesti kuormituksen aikana erittyneen kortisolin määrää, mutta tämän yhteyden todentaminen vaatii vielä lisätutkimuksia. (Ciloglu ym. 2005)

Kilpirauhashormonitasojen lyhytaikaiset muutokset voivat olla merkittäviä kehon sopeutumiskyvyssä stressiin tai katabolisiin tiloihin. (Ciloglu ym. 2005) Nämä ominaisuudet ovat urheilijalle tärkeitä palautumisen ja suorituskyvyn kannalta, ja alhaiset

kilpirauhashormonitasot voivat jopa edistää urheilijan ylikuormittumista (Nicoll ym. 2018). Fyysisen kuormituksen lyhytaikaisista seurauksista on kuitenkin vähemmän tutkimustietoa olemassa olevaan lepotasojen tutkimustietoon verrattuna.

4 MATALAN ENERGIANSAAATAVUUDEN JA KILPIRAUHASHORMONIEN YHTEYDET URHEILIJOILLA

Energiansaatavuuden tiedetään vaikuttavan merkittävästi elimistön fysiologisiin toimintoihin (Areta ym. 2021). Matalan energiansaatavuuden aiheuttamat toimintahäiriöt ovat useimmiten seurausta hormonitoiminnan muutoksista, ja nämä muutokset ovat usein myös ensimmäisiä havaittuja oireita LEAsta (Dipla ym. 2021). Useissa tutkimuksissa on havaittu T3:n alenemista LEAn seurauksena, mutta näyttöä TSH:n ja T4:n muutoksista on vähemmän, ja tulokset ovat epä johdonmukaisia (Areta ym. 2021). Estour ym. (2010) ovat kuitenkin havainneet matalan energiansaatavuuden olevan yhteydessä myös alhaisiin T4-tasoihin. Lisäksi alhaisen energiansaannin ja kilpirauhashormonien yhteyksiä tutkineessa tutkimuksessa todettiin matalan energiansaannin laskevan sekä T3- että T4-pitoisuuksia (Nicoll ym. 2018).

4.1 Energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonien yhteyksiä selittävät tekijät

Tutkimusten mukaan koko HPT-akseli mukautuu vasteena LEAlle (Areta ym. 2021). Hypotalamuksen hidastuneesta toiminnasta on käytetty nimitystä toiminnallinen hypotalamuksen amenorrea (*functional hypothalamic amenorrhea, FHA*) (Gordon ym. 2017). LEAn vasteena hidastuneesta kilpirauhasen toiminnasta on puolestaan käytetty nimitystä *sick euthyroid*, joka kuvastaa kilpirauhasen epänormaalia toimintaa (Misra & Klibanski 2014). Elliott-Salen ym. (2018) mukaan useissa tutkimuksissa naisilla ja naisurheilijoilla, joilla on todettu FHA tai kuukautiskierronhäiriö, on havaittu toistuvasti alemmat T3-tasot kontrolliryhmään verrattuna. T4- ja TSH-tasoissa ei puolestaan ole havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä.

Elimistön toiminta sopeutuu fysiologisiin muutoksiin energiatasapainon järkkyyessä (Elliott-Sale ym. 2018). On todettu, että matalan energiansaatavuuden tilassa myös muilla energia-aineenvaihduntaan osallistuvilla hormoneilla, kuten nälkä- ja kylläisyshormoneilla, on yhteyttä kilpirauhashormonien toimintaan. Perseghinin ym. (2009) mukaan leptiini on yksi näistä hormoneista. Leptiini on rasvasoluista vapautuva peptidi, jonka avulla hypotalamus aistii elimistön energiavarastojen tilannetta (Guyton & Hall 2020, 883). LEA-tilassa leptiinipitoisuudet laskevat, mikä on viesti hypotalamukselle energiavajeesta. Hypotalamus reagoi tähän esimerkiksi vähentämällä kilpirauhashormonien eritystä. (Loucks & Thuma 2003)

Lisäksi energiansaataavuus vaikuttaa kilpirauhasen toimintaan muun muassa entsyymitoiminnan sekä heikentyneen autonomisen hermoston toiminnan kautta. (Mullur ym. 2014) Energiansaataavuuden on todettu vaikuttavan D2-entsyymin toimintaan siten, että matalan energiansaataavuuden tilassa D2-entsyymin toiminta heikkenee. D2-entsyymin tehtävä on muuntaa T4:n T3:ksi, ja voi täten olla yksi selittävä tekijä, miksi matalan energiansaataavuuden yhteyksiä on havaittu enimmäkseen T3-tasoissa, mutta ei T4- ja TSH-tasoissa. (Mullur ym. 2014)

4.2 Matala energiansaataavuus ja kilpirauhashormonitasot urheilijoilla

Tutkimuksissa on havaittu LEAn ja T3:n välisiä yhteyksiä, mutta T4:n ja TSH:n kohdalla tulokset ovat epä johdonmukaisia (Areta ym. 2021). Areta ym. (2021) ovat koonneet yhteenvedon LEAn aiheuttamista hormonaalisista vasteista. Tutkimusten mukaan LEAn ja T3:n välillä on havaittu tilastollisesti merkitsevä yhteys. Kahdeksan yhdeksästä tutkimuksesta havaitsi alentuneita T3-tasoja vasteena LEAlle. Taulukossa 3 on koottuna Aretan ym. (2021) katsauksessa mukana olleet tutkimukset. Heidän mukaansa LEAn aiheuttamat muutokset T4:ssa ja TSH:ssa ovat epäselviä. Myös McCall ja Ackerman (2019) toteavat tutkimustulosten olevan epä johdonmukaisia T4:n ja TSH:n osalta. Nicoll ym. (2018) ovat puolestaan havainneet yhteyden energiansaannin sekä T3 että T4 välillä. Miesurheilijoilla tehdyssä tutkimuksessa ei puolestaan havaittu merkitseviä muutoksia T3-tasoissa (Koehler ym. 2016).

TAULUKKO 3. Yhteenveto tutkimuksista, jotka tarkastelivat matalan energiansaatavuuden vaikutuksia trijodityroniiniin. (Mukailtu Areta ym. 2021)

Tutkimus	Tutkittavat (n)	LEA kesto (vrk)	EA (ryhmittäin) (kcal/kgFFM/vrk)	T3
Loucks & Heath (1994)	7	4	10 ja 43	↓
Loucks, Verdun & Heath (1998)	9	4	13 ja 46	↓
Loucks & Thuma (2003)	29	5	10, 20, 30 ja 45	↓ LEA
Loucks & Verdun (1998)	8	5	10	↓ LEA
Loucks (2006)	19	5	10 ja 45	↓ LEA
Loucks & Heath (1994b)	27	4	11, 19, 25 ja 40	↓ LEA < 19
Koehler ym. (2016)	6	4	16, 16, 40 ja 38	↔
Papageorgiu ym. (2017)	22	5	15 ja 45	↓
Papageorgiou ym. (2018)	10	3	15, 15 ja 45	↓

EA, energy availability, energiansaatavuus; LEA, low energy availability, matala energiansaatavuus; T3, trijodityroniini; vrk, vuorokausi; ↓, alentuneet hormonitasot; ↔, ei merkitsevää muutosta.

Paastoamisella ja ruoan rajoittamisella todettiin vaikutuksia T3-tasoihin fitness-urheilijoita koskevassa tutkimuksessa (Hulmi ym. 2017). Diettaavilla fitnessurheilijoilla T3-tasot laskivat merkitsevästi kontrolliryhmään verrattuna. Heillä havaittiin myös alentuneita leptiini- ja estradiolitasoja, jotka kuitenkin palautuivat lähtötasolle 3–4 kuukauden palautumisjakson jälkeen. Sen sijaan T3-tasot pysyivät edelleen lähtötasoa alhaisempana. Hulmin ym. (2017) mukaan kalorirajoituksen jälkeisen palautumisjakson keston tulisi kiinnittää huomiota, jotta alhaisten T3-tasojen negatiiviset vaikutukset terveyteen ja aineenvaihduntaan minimoitaisiin.

Energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonitasojen yhteyksiä on havaittu myös poikkileikkausmenetelmällä, jossa LEAn kestosta ei ole tietoa. Heikura ym. (2018) havaitsivat LEA-tilan kestävyysurheilijanaisilla merkitsevästi alhaisempia T3-tasoja kohtalaisen energiansaatavuuden ryhmään verrattuna. Estour ym. (2010) havaitsivat energiavajeen olevan yhteydessä sekä VT3- että VT4-pitoisuuksien kanssa syömishäiriöstä kärsivillä tutkittavilla. Kyseisessä tutkimuksessa TSH:n kohdalla ei havaittu merkitsevää yhteyttä.

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimusongelma 1. Kuinka yleistä matalan energiansaataavuuden esiintyvyys on naisurheilijoilla?

Hypoteesi: LEAn esiintyvyys on välillä 20–85 %.

Perustelu: Matalaa energiansaataavuutta esiintyy Loguen ym. (2020) mukaan 22–58 %:lla kaikista urheilijoista ja Mountjoyn ym. (2023) mukaan 23–79,5 %:lla naisurheilijoista. Näiden vaihteluvälienkin ulkopuolisia esiintyvyyssprosentteja on tutkimuksissa saatu. Torres-McGeheen ym. (2021) tutkimuksen 121 urheilijasta 81 %:lla todettiin LEA. Heidän tutkimuksessaan LEA-esiintyvyys jalkapalloilijoilla oli 30 %, lentopalloilijoilla 83,3 % ja softball-urheilijoilla 100 %. Toisessa tutkimuksessa puolestaan lentopalloilijoiden LEA esiintyvyys oli vain 2 % (Woodruff & Meloche 2013; Jagimin ym. 2022, 6 mukaan). Matalan energiansaataavuuden esiintyvyyttä on siis vaikea ennustaa, sillä sen vaihteluväli aiempien tutkimusten mukaan on niin suuri. Lisäksi poikkileikkausasetelmalla mitattu esiintyvyys on aina riippuvainen tutkittavasta joukosta (Kesmodel 2018).

Tutkimusongelma 2. Eroaako matalan energiansaataavuuden esiintyvyys ja kilpirauhashormonien tasot kestävyysurheilijoiden ja palloilijoiden välillä?

Hypoteesi: Kyllä.

Perustelu: Kestävyysurheilijat kuuluvat LEA riskiryhmään (Jagin ym. 2022; Logue ym. 2020), joten LEAn esiintyvyys heidän keskuudessaan on todennäköisesti palloilijoita yleisempää. Matala energiansaataavuus johtuu usein alhaisesta hiilihydraattien saannista (Magee ym. 2020; Reed ym. 2014) ja kestävyysurheilijoiden hiilihydraattien suositeltu tarve (6–12 g/kg/vrk) on suhteessa suurempi palloilijoiden tarpeeseen (5–7 g/kg/vrk) verrattuna (Terveurheilija s.a.). Riskiä lisäävänä tekijänä voidaan pitää kestävyysurheilussa lajityypillistä kevytrakenteisuutta ja tietynlaista ihannoitua kehonkoostumusta (Sundgot-Borgen ym. 2013). Tämä saattaa häiritä urheilijan kehonkuvaa ja sitä kautta vaikuttaa urheilijan syömiskäyttäytymiseen negatiivisesti, kuten energiansaantia rajoittamalla (Jagim ym. 2022).

Kestävyysurheilijoiden kilpirauhashormonit T3:n osalta ovat todennäköisesti alhaisemmat, sillä Mullurin ym. (2014) mukaan hitaat lihassolut ovat herkempiä kilpirauhashormoneille kuin nopeat, ja täten voi olla selittävä tekijä lajiryhmien välisessä erossa. Lisäksi, kuten aiemmin mainittiin, oletuksena on, että LEAn esiintyvyys on yleisempää kestävyysurheilijoilla. Täten myös heidän VT3-tasonsa ovat todennäköisesti alaisemmat palloilijoihin verrattuna, sillä T3:n on tutkimuksissa todettu laskevan LEAn vasteena (Loucks & Thuma 2003). TSH- ja VT4-tasoissa ei oleteta olevan merkitsevää eroa ryhmien välillä, sillä aiempi tutkimusnäyttö TSH:n ja T4:n osalta on hyvin ristiriitaisia (Areta ym. 2021).

Tutkimusongelma 3. Ovatko energiansaatavuus ja kilpirauhashormonit yhteydessä toisiinsa?

Hypoteesi: Kyllä VT3:n osalta, mutta eivät VT4:n tai TSH:n osalta.

Perustelu: Energiansaatavuus ja kilpirauhashormonitasot ovat yhteydessä VT3:n osalta, mutta eivät TSH:n ja VT4:n osalta, sillä energiansaatavuuden on aiempien tutkimusten mukaan todettu olevan yhteydessä T3-tasojen kanssa, mutta T4 ja TSH osalta tutkimustulokset ovat epä johdonmukaisia (Areta ym. 2021). Heikura ym. (2018) havaitsivat poikkileikkaustutkimuksessaan matalan energiansaatavuuden ryhmällä merkitsevästi alhaisemmat T3-tasot korkeamman energiansaatavuuden ryhmään verrattuna. Kilpirauhashormoneilla on merkittävä rooli energia-aineenvaihdunnassa, minkä vuoksi ne reagoivat herkästi myös energiavajeeseen (Guyton & Hall 2020, 941–944). LEA-tilassa elimistö pyrkii säästämään energiaa välttämättömille toiminnoille, jolloin kilpirauhashormonien kasvun ja kehityksen edistämistehtävä ei ole selviytymisen kannalta oleellista (Loucks ym. 2011), ja on täten mahdollisesti yksi toiminto, josta voidaan karsia.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä tutkimus on toteutettu osana laajempaa NoREDS-tutkimusta, jonka toteutuksesta vastaavat Jyväskylän yliopisto sekä Huippu-urheilu instituutti KIHU. NoREDS-tutkimus tarkastelee suhteellista energiavajetta ja energiansaataavuutta sekä niiden vaikutuksia urheilijan terveyteen ja suorituskykyyn. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella matalan energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien yhteyksiä naisurheilijoilla.

6.1 Tutkittavat

Tutkittavia oli yhteensä 61 naisurheilijaa. Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään lajin perusteella: kestävyysurheilijat (n=31) ja palloilijat (n=30). Kestävyysurheilijoiden ryhmässä oli eri kestävyyslajien edustajia, joita olivat maastohiihto (n=6), suunnistus (n=18), kestävyysjuoksu (n=5) ja kilpakävely (n=2). Palloilijoiden ryhmä koostui rugbyyn (n=13) ja jalkapallon (n=17) pelaajista. Iältään tutkittavat olivat 16–34-vuotiaita (23,9 v. \pm 5,2 v.). Aineiston keräys suoritettiin harjoituskauden aikana. Tutkimukseen osallistuminen perustui vapaaehtoisuuteen ja kaikkiin tutkittaviin oltiin yhteydessä joko sähköpostitse tai puhelimitse. Tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen osallistumista ja tutkimuksella oli Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto (514/13.00.04.00/2021). Tutkittavien perustiedot ovat koottuna taulukkoon 4.

TAULUKKO 4. Tutkittavien perustiedot muodossa keskiarvo \pm keskihajonta.

Ryhmä	Kestävyys (n=31)	Palloilijat (n=30)	Kaikki (n=61)
Ikä (v.)	24,2 \pm 4,7	23,6 \pm 5,8	23,9 \pm 5,2
Pituus (m)	1,70 \pm 0,06	1,68 \pm 0,05	1,69 \pm 0,06
Paino (kg)	58,7 \pm 4,41	67,1 \pm 8,8	62,8 \pm 11,0
BMI	20,3 \pm 1,2	23,7 \pm 2,5	21,8 \pm 3,8

v., vuosi; m, metri; kg, kilogramma.

6.2 Tutkimusasetelma ja aineiston keräys

Tutkimuksessa selvitettiin matalan energiansaataavuuden yhteyksiä kilpirauhashormoneihin. Tutkimusasetelmana toimi poikkileikkausmenetelmä. Tutkittavat urheilijat olivat aineiston keräyshetkellä harjoituskaudella. Aineisto on kerätty vuosien 2020–2023 aikana. Tutkimusaineisto sisälsi tutkittavien itse täyttämät ruoka- ja harjoituspäiväkirjat, kehonkoostumusmittauksen tulokset sekä verikoetulokset. Laboratoriomittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisessä laboratoriossa.

Ruokapäiväkirja. Tutkittavia ohjeistettiin täyttämään ruokapäiväkirjaa MealLogger-sovellukseen neljän päivän ajan. Kirjauspäiviksi kehoitettiin valitsemaan mahdollisimman tavanomaisia päiviä. Ohjeena oli merkitä päiväkirjaan mahdollisimman tarkasti, mitä ja milloin suuhunsa laittaa niin ruokien kuin juomienkin osalta. Myös mahdolliset käytössä olevat lisäravinteet ja vitamiinit tuli merkitä. Kirjauksen lisäksi MealLogger-sovellukseen otettiin kuva syödyistä ja juoduista annoksista.

Harjoituspäiväkirja. Tutkittavat täyttivät harjoituspäiväkirjaa samanaikaisesti ruokapäiväkirjan kanssa. Harjoitusten osalta tutkittavia ohjeistettiin merkitsemään harjoituksen suoritus aika ja –kesto sekä koettu kuormitus asteikolla 1–10 (1=huoltava / erittäin kevyt, 10=maksimaalinen). Analyysin tarkentamiseksi tutkittavia pyydettiin merkitsemään mahdollisuuksien mukaan harjoituksen aikainen keskisyke ja harjoituksen laatu sekä kirjaus siitä, miten tutkittava koki jaksavansa harjoituksessa asteikolla 1–5.

Kehonkoostumus. Tutkittavien kehonkoostumus mitattiin laboratorio-olosuhteissa DXA-mittauksella. DXA-mittauksessa tutkittava aseteltiin mittauspöydälle seuraavasti: tutkittava ohjeistettiin asettumaan makaamaan selälleen mittaustason keskiviivan mukaisesti pää noin 5 cm tason yläpäässä olevan viivan alapuolelle. Tutkittavan selkäranka oikaistiin vetämällä tutkittavaa nilkoista. Jalkojen asento vakioitiin styroksilevyn avulla. Mittauksen suoritti koulutettu laboratorion henkilöstö. Kehonkoostumusmittaus suoritettiin muiden laboratoriomittausten yhteydessä kymmenen tunnin paaston jälkeen aamuaikaan. Lisäksi tässä yhteydessä otettiin tutkittavien pituus ja paino. Pituus mitattiin mittanauhalla 0,5 cm tarkkuudella ja painona käytettiin DXA-mittauksesta saatua arvoa 0,1 kg tarkkuudella.

Verikokeet. Verikokeet suoritettiin kehonkoostumusmittauksen tavoin muiden laboratoriomittausten yhteydessä kymmenen tunnin paaston jälkeen aamuaikaan. Näytteen ottajana toimi liikuntalaboratorion koulutettu henkilöstö. Verinäyte otettiin kyynärlaskimoverinäytteenä. Näytteestä analysoitavat hormonit tähän tutkimukseen olivat tyreotropiini (TSH), vapaa tyroksiini (VT4) ja vapaa trijodityroniini (VT3).

6.3 Aineiston analysointi

Ruoka- ja harjoituspäiväkirja. Tutkittavien ruokapäiväkirjat lähetettiin ravitsemusasiantuntijalle, joka analysoi MealLoggerista saamiensa kuvien ja kirjausten perusteella Finel-sovellusta hyödyntäen syödyt kilokalorit (EI). Harjoituspäiväkirjasta analysoitiin harjoituksessa kulutettu energiamäärä (EEE) hyödyntäen tietoja harjoituksen kestosta sekä intensiteetistä. Intensiteetti katsottiin Ainsworthin ym. (2011) MET-taulukosta, ellei tarkempaa kuvaa esimerkiksi aktiivisuusrannekkeesta ollut. MET-kertoimella laskiessa saadusta arvosta tuli vähentää vielä harjoituksenaikainen lepoenergiankulutus. Kaava: $EEE = t \times MET \times (REE/24) \times t$, jossa t = harjoituksen kesto tunteina, MET = Ainsworthin ym. (2011) taulukoista etsitty kerroin kyseiselle fyysiselle aktiviteetille ja REE = Cunninghamin (1991) kaavalla määritetty lepoenergiankulutus.

Kehonkoostumus. DXA-mittauksen tulokset analysoi liikuntalaboratorion henkilöstö. Tuloksista tilastoitiin energiansaataavuuden määrittämiseen tarvittava kehon rasvaton massa (*fat free mass, FFM*) sekä tutkittavan paino 0,1 kilogramman tarkkuudella.

Energiansaataavuus. Energiansaataavuus arvioitiin ruoka- ja harjoituspäiväkirjasta sekä kehonkoostumusmittauksesta saatavien tulosten perusteella. Arviointiin käytettiin energiansaataavuuden kaavaa: $(EI-EEE) / \text{kgFFM}$.

Verikokeet. Näytteenoton jälkeen laskimoveri sentrifugoitiin, mistä analysoitavaksi saatiin seerumi. Kilpirauhashormonit analysoitiin seerumista Immulite 2000 XPi –laitteella, jonka valmistaja on Siemens. Analysoitavat muuttujat olivat tyreotropiini (TSH), vapaa trijodityroniini (VT3) ja vapaa tyroksiini (VT4).

Tilastolliset menetelmät. Tulosten tilastollinen analyysi suoritettiin IBM SPSS statistics-ohjelmalla (versio 28.0.1.1). Mitattaville muuttujille tehtiin Kolmogorov-Smirnov ja Shapiro-Wilk normaalijakauma testit, joiden perusteella tulokset jaettiin normaalisti jakautuneisiin ja ei-normaalisti jakautuneisiin. Kun tarkastelussa oli koko tutkimusjoukko tai ainoastaan kestävyysurheilijat, normaalisti jakautuneita muuttujia olivat VT4 ja EA, ja ei-normaalisti jakautuneita VT3 ja TSH. Vain palloilijoita tarkasteltaessa normaalisti jakautuneita muuttujia olivat VT3, VT4 sekä EA, ja TSH oli ei-normaalisti jakautunut. Kun jako suoritettiin energiansaataavuuden tason mukaan, matalan energiansaataavuuden ryhmässä kaikki muuttujat olivat normaalisti jakautuneita. Kohtalaisen energiansaataavuuden ryhmässä ainoastaan TSH oli ei-normaalisti jakautunut. Optimaalisen energiansaataavuuden ryhmässä VT4 ja TSH olivat normaalisti jakautuneita ja VT3 sekä EA olivat ei-normaalisti jakautuneita.

Korrelaatiomenetelmä valittiin normaalijakauman perusteella. Normaalisti jakautuneet muuttujat analysoitiin Pearsonin korrelaatiomenetelmällä ja ei-normaalisti jakautuneet Spearmanin korrelaatiomenetelmällä. Jos toinen muuttujista oli normaalisti jakautunut ja toinen ei, käytettiin Spearmanin korrelaatiomenetelmää. Normaalisti jakautuneista muuttujista ilmoitettiin keskiarvo ja keskihajonta. Ei-normaalisti jakautuneista muuttujista ilmoitettiin mediaani ja IQR-arvo. Korrelaatioista on ilmoitettu korrelaatiokerroin (Pearson r , Spearman r_s) sekä p-arvo.

7 TULOKSET

Tutkittavat (n=61) jaettiin kahdesti eri ryhmiin. Ensimmäisessä osassa jako tapahtui lajiryhmittäin kestävyysurheilijoihin (n=31) ja palloilijoihin (n=30) ja toisessa osassa energiansaatavuuden mukaan matalan (n=11), kohtalaisen (n=33) ja optimaalisen (n=17) energiansaatavuuden ryhmiin. Tutkimus toteutettiin poikkileikkausmenetelmänä, ja sen tarkoituksena oli selvittää matalan energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonien yhteyksiä naisurheilijoilla. Lisäksi tarkasteltiin matalan energiansaatavuuden esiintyvyyttä ja esiintyvyyden eroja lajiryhmittäin. Tarkastelussa olevat hormonit olivat vapaa trijodityroniini, vapaa tyroksiini ja tyreotropiini.

7.1 Energiansaatavuus

Energiansaatavuuden tasoa vertailtaessa kestävyysurheilijoiden ($40,0 \pm 11,7$ kcal/kgFFM/vrk) ja palloilijoiden ($39,7 \pm 12,9$ kcal/kgFFM/vrk) välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa ($p=0,927$). Taulukossa 5 on kuvattu energiansaatavuuden tulokset muodossa keskiarvo \pm keskihajonta.

TAULUKKO 5. Energiansaatavuuden keskiarvot ja keskihajonnat lajiryhmittäin.

Ryhmä	Kestävyys	Palloilu	Kaikki
Keskiarvo \pm keskihajonta (kcal/kgFFM/vrk)	$40,0 \pm 11,7$	$39,7 \pm 12,9$	$39,8 \pm 12,2$

kcal/kgFFM/vrk, kilokaloria per kehon rasvaton massa.

Koko tutkittavasta joukosta (n=61) matalaa energiansaatavuutta esiintyi 18 %:lla. Kohtalaisen energiansaatavuuden tasolla kaikista tutkittavista oli 54 % ja optimaalisen energiansaatavuuden tasolla oli 28 % tutkittavista. Matalan energiansaatavuuden esiintyvyys kestävyysurheilijoiden (19 %) ja palloilijoiden (17 %) välillä ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ($p=0,927$). Tutkittavien jakautuminen eri energiansaatavuuden tasolle on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Eri energiansaatavuuden tasojen esiintyvyys tutkittavilla ryhmillä.

Ryhmä	Matala EA	Kohtalainen EA	Optimaalinen EA
Kestävyys (n)	6	17	8
Esiintyvyys (%)	19 %	55 %	26 %
Palloilu (n)	5	16	9
Esiintyvyys (%)	17 %	53 %	30 %
Kaikki (n)	11	33	17
Esiintyvyys (%)	18 %	54 %	28 %

EA, energy availability, energiansaatavuus; n, otoskoko.

7.2 Kilpirauhashormonit

Kilpirauhashormoneille määritettyjen viitearvojen (HUSLAB) alapuolella olevia arvoja esiintyi VT3:n ja VT4:n kohdalla mutta ei TSH:n kohdalla (taulukko 7). Kestävyysurheilijoista kahdella tutkittavalla ja palloilijoista yhdellä tutkittavista VT3 oli viitearvojen alapuolella. Kestävyysurheilijoista kuudella tutkittavalla ja palloilijoista kahdella tutkittavalla VT4 oli viitearvojen alapuolella. Viitearvojen yläpuolella olevia pitoisuuksia havaittiin VT3:n ja TSH:n kohdalla, mutta ei VT4:n kohdalla. Kestävyysurheilijoista kahdella ja palloilijoista kuudella tutkittavalla VT3 oli viitearvojen yläpuolella. TSH oli viitearvojen yläpuolella yhdellä kestävyysurheilijalla ja yhdellä palloilijalla.

TAULUKKO 7. Viitearvojen ali ja yli menevien kilpirauhashormoniarvojen lukumäärä.

	HUSLAB viitearvot	Alle viitearvojen (n)	Yli viitearvojen (n)
VT3 (pmol/l)	2,6–6,3	3	8
VT4 (pmol/l)	11–23	8	0
TSH (mU/l)	0,5–4	0	2

pmol/l, pikomoolia litrassa; mU/l, milliyksikköä litrassa; n, otoskoko.

Kilpirauhashormonitasojen tuloksissa kestävyysurheilijoiden ja palloilijoiden välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa VT3:n ($p=0,197$), VT4:n ($p=0,234$) tai TSH:n ($p=0,197$) kohdalla. Taulukossa 8 on kuvattuna normaalijakautuneet kilpirauhashormonitasot

lajiryhmittäin muodossa keskiarvo \pm keskihajonta ja ei-normaalisti jakautuneet muodossa mediaani \pm IQR.

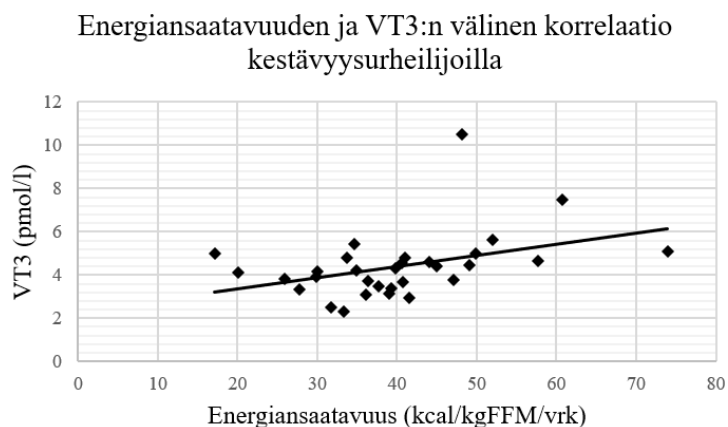
TAULUKKO 8. Tutkittavien normaalisti jakautuneet kilpirauhashormonipitoisuudet muodossa keskiarvo \pm keskihajonta ja ei-normaalisti jakautuneet muodossa mediaani \pm IQR.

	Kestävyys (n=31)	Palloilu (n=30)	Kaikki (n=61)
VT3 (pmol/l)	4,22 \pm 1,36	4,70 \pm 1,26	4,42 \pm 1,31
VT4 (pmol/l)	13,23 \pm 2,22	13,87 \pm 1,94	13,54 \pm 2,10
TSH (mU/l)	1,79 \pm 1,12	1,86 \pm 1,26	1,83 \pm 1,08

pmol/l, pikomoolia litrassa; mU/l, milliyksikköä litrassa.

7.3 Matala energiansaataavuus ja kilpirauhashormonit

Korrelaatiot lajiryhmittäin. Energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien välinen korrelaatio koko tutkittavaa joukkoa tarkasteltaessa ei ollut tilastollisesti merkitsevä VT3:n ($r_s=0,228$, $p=0,077$), VT4:n ($r=0,184$, $p=0,157$) tai TSH:n ($r_s=0,116$, $p=0,373$) kohdalla. Kestävyysurheilijoita tarkasteltaessa VT3 ja EA korreloivat tilastollisesti merkitsevästi ($r_s=0,453$, $p=0,010$) (kuva 2), mutta VT4 ($r=0,142$, $p=0,448$) ja TSH ($r_s=0,137$, $p=0,463$) eivät. Palloilijoiden ryhmässä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota VT3:n ($r=0,092$, $p=0,630$), VT4:n ($r=0,240$, $p=0,201$) tai TSH:n ($r_s=0,120$, $p=0,529$) kohdalla. Taulukossa 9 on esitetty energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien väliset korrelaatiot lajiryhmittäin.



KUVA 2. Energiansaataavuuden ja VT3:n välinen korrelaatio kestävyysurheilijoiden ryhmässä. kcal/kgFFM/vrk, kilokaloria per kehon rasvaton massakilo vuorokaudessa; pmol/l, pikomoolia litrassa.

TAULUKKO 9. Energiensaataavuuden ja kilpirauhashormonien väliset korrelaatiot.

EA	Kestävyys (n=31)	Palloilu (n=30)	Kaikki (n=61)
VT3 korrelaatiokerroin (r)	0,453 (r_s)	0,092	0,228 (r_s)
p-arvo	0,010*	0,630	0,077
VT4 korrelaatiokerroin (r)	0,142	0,240	0,184
p-arvo	0,448	0,201	0,157
TSH korrelaatiokerroin (r)	0,137 (r_s)	0,120 (r_s)	0,116 (r_s)
p-arvo	0,463	0,529	0,373

r, korrelaatiokerroin; r_s , Spearmanin korrelaatiokerroin; *, tilastollisesti merkitsevä $p < 0,05$.

Yhteydet energiensaataavuuden tason mukaan. Kun tutkittavat jaettiin energiensaataavuuden mukaan matalan (LEA), kohtalaisen (MEA) ja optimaalisen (OEA) energiensaataavuuden ryhmiin ja vertailtiin kilpirauhashormonipitoisuuksia ryhmien välillä, ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa VT3:n (LEA vs. MEA $p=0,930$; LEA vs. OEA $p=0,144$; MEA vs. OEA $p=0,073$), VT4:n (LEA vs. MEA $p=0,868$; LEA vs. OEA $p=1,000$; MEA vs. OEA $p=0,118$) tai TSH:n (LEA vs. MEA $p=0,143$; LEA vs. OEA $p=0,173$; MEA vs. OEA $p=0,954$) kohdalla. Kohtalaisen ja optimaalisen ryhmän välinen ero VT3-tasoissa oli kuitenkin ei-merkitsevä ($p=0,073$). Alhaisimmat VT3- ja VT4-tasot havaittiin MEA-ryhmässä ja alhaisimmat TSH-tasot LEA-ryhmässä. Taulukossa 10 on esitetty EA-tason mukaan jaettujen ryhmien kilpirauhashormonitasot muodossa keskiarvo \pm keskihajonta normaalisti jakautuneilla muuttujilla ja muodossa mediaani \pm IQR ei-normaalisti jakautuneilla muuttujilla.

TAULUKKO 10. Tutkittavien energiensaataavuudet ja kilpirauhashormonipitoisuudet.

	LEA (n=11)	MEA (n=33)	OEA (n=17)
EA (kcal/kgFFM/vrk)	23,67 \pm 5,71	37,42 \pm 4,69	52,01 \pm 11,23
VT3 (pmol/l)	4,34 \pm 1,08	4,28 \pm 1,12	4,64 \pm 1,77
VT4 (pmol/l)	13,87 \pm 2,48	13,13 \pm 2,07	14,39 \pm 1,44
TSH (mU/l)	1,63 \pm 0,41	1,87 \pm 1,77	2,19 \pm 0,95

LEA, matala energiensaataavuus; MEA, kohtalainen energiensaataavuus; OEA, optimaalinen energiensaataavuus; kcal/kgFFM/vrk, kilokaloria per kehon rasvaton massa vuorokaudessa; pmol/l, pikomoolia litrassa; mU/l, milliyksikköä litrassa.

8 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella matalan energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonien yhteyksiä naisurheilijoilla. Erityisesti haluttiin selvittää, löytyykö matalan energiansaatavuuden yhteyksiä alhaisiin kilpirauhashormonitasoihin. Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin tarkastelussa olevia muuttujia kestävyysurheilijoiden ja palloilijoiden välillä. Matalan energiansaatavuuden esiintyvyys oli koko tutkittavassa joukossa 18 %, kestävyysurheilijoilla 19 % ja palloilijoilla 17 %. Lajiryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa matalan energiansaatavuuden esiintyvyydessä. Suurin osa koko tutkimusjoukosta (54 %) kuului kohtalaisen energiansaatavuuden tasolle.

Energiansaatavuuden ja kilpirauhashormonein välinen korrelaatio koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa ei ollut tilastollisesti merkitsevä yhdenkään kolmen tarkastelussa olevan hormonin kohdalla. Kestävyysurheilijoita tarkasteltaessa tilastollisesti merkitsevä korrelaatio havaittiin vain VT3 ja energiansaatavuuden välillä ($p=0,010$). Palloilijoita tarkasteltaessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita muuttujien välillä. Jaettaessa tutkimusjoukko energiansaatavuuden tason mukaan matalan, kohtalaisen ja optimaalisen energiansaatavuuden ryhmiin, ja vertailtaessa näiden ryhmien kilpirauhashormonitasoja, tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien kesken ei havaittu yhdenkään hormonin kohdalla, mutta kohtalaisen ja optimaalisen ryhmän välinen ero VT3-tasoissa oli ei-merkitsevä ($p=0,073$). Seuraavaksi käsitellään perusteellisemmin hypoteesien toteutuminen peilaten tuloksia aiempaan tutkimusnäyttöön sekä pohditaan tutkimuksen vahvuuksia ja heikkouksia.

8.1 Matalan energiansaatavuuden esiintyvyys

Matalan energiansaatavuuden esiintyvyys koko tutkimusjoukossa oli 18 %. Kestävyysurheilijoiden ryhmässä matalaa energiansaatavuutta esiintyi 19 %:lla ja palloilijoiden ryhmässä 17 %:lla. LEAn esiintyvyys koko tutkimusjoukossa sekä lajiryhmittäin tarkasteltaessa oli hieman alhaisempi kuin aiempi tutkimusnäyttö naisurheilijoiden kohdalla (23–79,5 %) osoittaa (Mountjoy ym. 2023). Ero ei kuitenkaan ollut merkittävä, ja vielä alhaisempiakin esiintyvyyksiä on tutkimuksissa havaittu (Jagim ym. 2022).

LEAn esiintyvyys ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi kestävyysurheilijoiden (19 %) ja palloilijoiden (17 %) välillä ($p=0,927$), mikä on ristiriidassa ensimmäisen hypoteesin kanssa, jossa oletettiin kestävyysurheilijoilla esiintyvyyden olevan korkeampi palloilijoihin verrattuna. Tulokset eroavat Sundgotin ja Torstveitin (2010) tutkimustuloksista, joiden mukaan LEAn esiintyvyys on korkeinta kestävyysurheilijoilla. Koehler ym. (2013) ovat puolestaan havainneet eri lajiryhmiä vertailtaessa nimenomaan kestävyysurheilijoilla korkeimmat EA-tasot, mikä kertoo siitä, että LEAn esiintyvyys on aina riippuvaista tutkimusjoukosta. Vaikka kestävyysurheilijat Loguen ym. (2020) mukaan kuuluvatkin LEA-riskiryhmään, esiintyvyys tutkimuksissa voi vaihdella merkittävästi. Saatuja tuloksia tukee myös Jagimin ym. (2022) toteamus siitä, että uusimpien tutkimusten mukaan myös palloilijoilla on havaittu korkeita LEAn esiintyvyyss prosentteja. Tutkimustuloksista voidaan päätellä, että LEAn esiintyvyys on enemmän riippuvainen tutkittavasta joukosta kuin tutkittavan joukon lajiryhmästä.

Suurin osa sekä kestävyysurheilijoista (55 %) että palloilijoista (53 %) kuului kohtalaisen energiansaataavuuden tasolle, jolloin tutkittavia jakautui ääripäihin selkeästi vähemmän. Jos analysoinnissa olisi käytetty erilaisia energiansaataavuuden raja-arvoja, kuin tässä tapauksessa käytettiin, tulokset olisivat voineet muuttua. Tulokset eivät kerro muun muassa sitä, kuinka moni tutkittava oli lähellä matalan energiansaataavuuden tasoa (30 kcal/kgFFM/vrk). Suuri energiansaataavuuden vaihteluväli niin yksilö- kuin ryhmätasolla voi olla myös selittävä tekijä, miksi ensimmäinen hypoteesioletus ei toteutunut. Lisäksi tähän on saattanut vaikuttaa virheelliset EA-arviot.

8.2 Kilpirauhashormonitasot

Kilpirauhashormoneissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa lajiryhmien välillä, mikä on vastoin toisen hypoteesin oletusta siitä, että kestävyysurheilijoilla olisi alhaisemmat VT3-tasot. Toisen hypoteesin oletuksen yhtenä perusteena pidettiin ensimmäisen hypoteesin oletusta lajien välisestä erosta LEAn esiintyvyydessä, mikä ei kuitenkaan toteutunut, joten tämä osin selittää saatuja tuloksia. Lisäksi oletettua eroa perusteltiin lihassolujakaumalla, jonka mukaan hitaat lihassolut käyttävät T3:a nopeita lihassoluja paremmin (Ciloglu ym. 2005). Palloilijoiden ryhmä koostui kuitenkin jalkapallon ja rugbyyn pelaajista, joista etenkin myös jalkapallossa kestävyysominaisuudet ovat merkittävä osa suorituskäkyä (Bangsbo ym. 2006). Jos kestävyysurheilijoita olisi verrattu selkeästi teholajiin, kuten pikajuoksuun, olisivat tulokset

voineet olla merkitseviä. Ylipäätään tutkittavien kestävyysurheilijoiden VT3-tasot ($4,22 \pm 1,36$ pmol/l) olivat selkeästi korkeampia verrattuna esimerkiksi Heikuran ym. (2018) tutkimukseen osallistuvien kestävyysurheilijoiden VT3-tasoihin (LEA $3,1 \pm 0,6$ pmol/l ja MEA $3,3 \pm 0,7$ pmol/l). Paaston huoleton noudattaminen saattaa olla selittävä tekijä korkeimmille kilpirauhasarvoille.

Hypoteesin 2 oletus siitä, etteivät VT4- ja TSH-tasot eroasi merkitsevästi ryhmien välillä, toteutui. Kilpirauhashormoneista veren VT3 on aktiivisessa muodossaan, ja solut käyttävät suurimmaksi osaksi sitä sen tehokkaan vaikuttavuuden vuoksi, mikä on nelinkertainen T4 verrattuna. T3:n säilyvyys veressä T4:sta lyhyemmän ajan, minkä vuoksi sen pitoisuudet ovat selkeästi alhaisemmat. (Guyton & Hall 2020, 941–944) Tällöin pienetkin pitoisuuden muutokset ovat merkittäviä, ja näyttäytyvät tilastollisissa analyyseissä herkästi merkitsevinä. T4-pitoisuuksien kohdalla merkitseviin tuloksiin vaaditaan suurempia muutoksia, mitä voidaan pitää selittäjänä tekijänä, miksi erot VT4-tasoissa eivät tässäkään tapauksessa olleet merkitseviä. Urheilijoilla tehdyissä tutkimuksissa VT3 onkin näistä kolmesta hormonista se, jota useimmiten mitataan, ja tietoa siitä on yksinkertaisesti eniten kyseisessä asiayhteydessä.

8.3 Energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien yhteydet

Energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonien välinen korrelaatio koko tutkimusjoukkoa tarkasteltaessa ei ollut tilastollisesti merkitsevä yhdenkään kolmen tarkastelussa olevan hormonin kohdalla. Kolmannen hypoteesin oletus VT3:n ja EA:n välisestä yhteydestä ei tältä osin toteutunut, ja on ristiriidassa aiemman tutkimusnäytön kanssa (Areta ym. 2021). Lajiryhmittäin tarkasteltaessa EA ja VT3 korreloivat tilastollisesti merkitsevästi kestävyysurheilijoiden ryhmässä, mutta eivät palloilijoiden ryhmässä. Kestävyysurheilijoiden ryhmän tulokset puolsivat Aretan ym. (2021) johtopäätöstä siitä, että energiansaataavuuden on todettu olevan yhteydessä T3:n osalta, mutta T4:n ja TSH:n kohdalla tulokset ovat epä johdonmukaisia. Energiansaataavuuden yhteyttä TSH-tasoihin ei havaittu myöskään esimerkiksi Estourin ym. (2010), Bergan ym. (1989) ja Loucksin ym. (1992) tutkimuksissa. Energiansaataavuuden yhteyttä T4-tasoihin ei puolestaan havaittu Loucksin ja Gallisterin (1993) tutkimuksessa.

Hypoteesin oletuksena oli, että matala energiansaataavuus olisi yhteydessä VT3-tasoihin ja täten matalan energiansaataavuuden ryhmässä esiintyisi myös alhaisimmat VT3-tasot. Tilastollisesti merkitsevää eroa ryhmien välillä ei kuitenkaan havaittu. Kohtalaisen ja optimaalisen ryhmän välinen ero VT3-tasoissa oli kuitenkin ei-merkitsevä, ja tästä tuloksesta olikin mahdollisesti havaittavissa aiempia tutkimustuloksia vastaava trendi. Alhaisimmat VT3- ja VT4-tasot havaittiin kuitenkin nimenomaan kohtalaisen energiansaataavuuden tasolla eikä matalan energiansaataavuuden tasolla, mikä on ristiriidassa niin oletuksen että aiempien tutkimustulosten kanssa, jossa matalan energiansaataavuuden ryhmässä on havaittu alhaisemmat T3-tasot verrattuna kohtalaisen energiansaataavuuden ryhmään (Heikura ym. 2018).

Matalan energiansaataavuuden tilassa elimistö pyrkii säästämään energiaa ja karsii tarpeettomia toimintojaan (Mountjoy ym. 2023). Kilpirauhashormonien tärkein tehtävä on aineenvaihdunnan kiihdyttäminen (Guyton & Hall 2020, 941–944), mutta LEA-tilassa elimistö kasvu ja kehitys eivät ole etusijalla selviytymisen kannalta (Mountjoy ym. 2023). Tästä syystä matala energiansaataavuus vaikuttaa myös kilpirauhasen toimintaan ja sen erittämien hormonien pitoisuuksiin, mikä selittää kestävyysurheilijoiden ryhmässä havaittua korrelaatiota VT3:n ja EA:n välillä. Tarkemmin energiansaataavuuden vaikutuksia kilpirauhashormonitasoihin on perusteltu D2-entsyymin toiminnan kautta. D2-entsyymin avulla T4:n muutetaan T3:ksi. Heikentyneen entsyymitoiminnan vuoksi LEAn vaikutukset näkyvät tämän perusteella vain T3-pitoisuuksissa. (Mullur ym. 2014) Energiansaataavuuden vaikutukset eivät ilmene myöskään TSH-tasoissa yhtä selkeästi kuin VT3-tasoissa. Tämän taustalla saattaa olla syynä se, että TSH tuotetaan aivolisäkkeessä (Guyton & Hall 2020, 941–944), ja hypoteesina voisi olla, että elimistöllä ei ole varaa säästää aivolisäkkeen toiminnasta yhtä paljon, kuin spesifisti itse kilpirauhasen toiminnasta.

Matalan energiansaataavuuden tilaan reagoiminen on hyvin yksilöllistä (Schaal ym. 2021), joten tästä syystä samanlaisia vasteita myöskään kilpirauhashormonipitoisuuksissa ei välttämättä näy. Yksilölliset erot voivat selittää tuloksia siitä, ettei koko tutkimusjoukossa havaittu korrelaatiota energiansaataavuuden ja kilpirauhashormonitasojen välillä. Poikkileikkausasetelman vuoksi myöskään tutkittavien LEA-tilan kestosta ei ole tietoa, minkä vuoksi tulokset eivät edes ole verrattavissa esimerkiksi interventiotutkimuksissa, kuten Loucksin ja Thumanin (2003) tutkimuksessa, saatuihin tuloksiin. Interventiossa EA:ta rajoitetaan hyvin nopealla aikataululla ja suurella volyyymilla, mikä voi selittää merkitseviä alentuneita hormonitasoja. Arjessa harvoin toteutetaan yhtä suuria muutoksia yhtä lyhyessä

ajassa, minkä vuoksi tulokset eivät välttämättä päde intervention ulkopuolella. Yksilöllisyyden ja tutkimusasetelman lisäksi selittävänä tekijänä, miksi aiempien tutkimusten mukaisia tuloksia ei havaittu, voi tässäkin tapauksessa olla virheelliset EA-arviot. Mikäli näin on tapahtunut, tutkittavat on jaettu matalan, kohtalaisen ja optimaalisen energiansaatavuuden ryhmiin väärin ja mahdollisesti kilpirauhashormonitasot ovat jakautuneet ryhmiin todellisuutta tasaisemmin. Virheellisestä EA arvioinnista sekä muista mahdollisista virhelähteistä kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

8.4 Tutkimusmenetelmän arviointi

Tutkimustuloksia tarkasteltaessa on hyvä huomioida myös mahdolliset virhelähteet, jotka ovat saattaneet vaikuttaa tuloksiin. Seuraavaksi arvioidaan tämän tutkimuksen mahdollisia virhelähteitä liittyen tutkimusasetelmaan, käytettyihin menetelmiin, tutkittaviin sekä tutkijoihin. Heikkouksien lisäksi arvioidaan tutkimuksen vahvuuksia.

Poikkileikkausmenetelmä. Tutkimus toteutettiin poikkileikkausmenetelmänä. Poikkileikkausmenetelmä on Kesmodelin (2018) mukaan hyvä tutkimusmenetelmämuoto, kun halutaan tarkastella jonkin muuttujan esiintyvyyttä, kuten tässä tutkimuksessa LEAn esiintyvyyttä naisurheilijoilla lajiryhmittäin. Tulokset ovat kuitenkin riippuvaisia otannasta ja informaatioharhan mahdollisuus on tällöin suuri (Kesmodel 2018). Esiintyvyys näin pienellä otannalla (n=61) antaa hyvin tietoa tämän tutkittavan joukon LEAn esiintyvyydestä, mutta ei ole yleistettävissä laajemmin naisurheilijoihin. Poikkileikkausmenetelmä kertoo heikosti todellisia syy-seuraussuhteita eikä kausaalisia johtopäätöksiä voida tulosten perusteella tehdä (Kesmodel 2018). Tässä tutkimuksessa matalan energiansaatavuuden fysiologiset vaikutukset ovat hyvin riippuvaisia sen kestosta, eikä poikkileikkausmenetelmällä energiansaatavuuden tason ylläpitoaikaa ole yksilökohtaisesti tiedossa. Tutkittavilla ei täten voida määrittää mahdollisia akuutteja tai kroonisia tiloja eikä niiden aiheuttamia vasteita, kuten aiemmin todettiin.

Poikkileikkaustutkimuksen vahvuutena on, ettei se vaadi tutkittavilta pidempää sitoutumista, jolloin myös kadon sekä puuttuvan aineiston osuus on usein suhteessa pienempi, verrattuna esimerkiksi pitkittäistutkimukseen. Vaikka tutkimusjoukko oli esiintyvyyden yleistämiseen liian pieni, olivat tutkittavat lajiryhmät keskenään samankokoiset, mikä oli lajien välisessä

vertailussa vahvuus. LEAa koskevaa tutkimusta on paljon kestävyysurheilijoista sekä esteettisistä lajeista, ja nämä lajit ovatkin Loguen ym. (2020) mukaan luokiteltu riskiryhmään. Tämän tutkimuksen vahvuutena oli tutkimustiedon lisääminen palloilijoista, sillä Jagimin ym. (2022) mukaan LEAn esiintyvyys on ollut myös palloilijoita koskevissa tutkimuksissa suuri. Palloilijoiden ja kestävyysurheilijoiden välillä ei havaittu merkitsevää eroa energiansaataavuudessa, minkä vuoksi voidaan todeta, että tietoisuuden lisääminen LEAsta myös palloilijoiden sekä muiden joukkuelajien keskuudessa on aiheellista. Tutkimustiedon tuottaminen tulevaisuudessa on tärkeää, jotta mahdollisiin ongelmiin voidaan puuttua sekä niiden syntymistä ennaltaehkäistä.

Energiansaataavuuden käyttö tutkimusmenetelmänä. Energiansaataavuuden käyttö tutkimuksessa on virhealtis. Heikura ym. (2018) mukaan ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen toistettavuuteen ja luotettavuuteen liittyy luontaisia ongelmia. Niistä saadut tulokset voivat merkittävästi väärentää EA-arviota. Energiansaannin yleisimmät virhelähteet liittyvät ali- ja ylipäiväkirjoihin, mikä voi tapahtua monesta syystä. Näitä ovat esimerkiksi tutkittavan rehellisyys ja motivaatio täyttää ruokapäiväkirjaa todenmukaisesti sekä tutkittavan arvioidun annoskoon erot punnittuun määrään. Lisäksi ruokapäiväkirjaa täytettiin tässä tutkimuksessa vain neljän päivän ajan, mikä ei todennäköisesti ole riittävä aika kuvaamaan urheilijan keskimääräistä energiansaantia pidemmällä ajanjaksolla. Ruokailutottumuksissa voi esiintyä päivittäistä vaihtelua ja on sattumaa tai jopa harkittua, mitkä päivät valikoituvat mittauspäiviksi. (Heikura ym. 2018)

Energiansaannin lisäksi energiankulutuksen arviointi harjoituspäiväkirjan avulla on melko epätarkkaa (Burke ym. 2018). Tutkittavien välillä on voinut olla vaihtelua, miten tarkkaan syketiedot ovat tiedossa. Ilman syketietoja energiankulutus arvioitiin MET-kertoimilla, jotka eivät yksilötasolla ole kovin luotettavia. Muuttujat, joita MET-kertoimet eivät huomioi, ovat esimerkiksi ympäristötekijät, kuten kuumuus, kylmyys ja maasto, tilannetekijät, kuten kilpailu- ja harjoitustilanne, varustuksen määrä sekä kehon rasvattoman massan määrä. (Jette ym. 1990) Energiansaataavuuden kaava ei huomioi myöskään muuta fyysistä aktiivisuutta (*non-exercise activity thermogenesis, NEAT*) kuin toteutetun harjoituksen. Joillakin tutkittavilla NEAT on hyvin runsasta esimerkiksi fyysisen työn takia, kun taas toisilla arkiaktiivisuutta kertyy hyvin vähän. Silti määritetty EA on sama henkilöillä, joiden EI, EEE sekä rasvaton kehon massa ovat samanlaisia. (Charlot ym. 2014) Lisäksi energiansaataavuuden määrittämisen

tutkimusprotokolla vaihtelee tutkimusten välillä, eikä ole olemassa yhtenäistä viitekehystä, jonka aikana ruoka- ja harjoituspäiväkirja tulisi täyttää. Myöskään standardoituja protokollia, joiden mukaan muuttujat tulisi mitata, ei ole määritelty. (Heikura ym. 2018) Eri tavoin toteutettujen tutkimusten tulokset eivät täten ole täysin vertailukelpoisia keskenään, vaikka muuttujat olisivatkin samat. Virhearvoista huolimatta EA:n laskennallista arviota käytetään edelleen tutkimuksissa paljon muun muassa sen resurssiystävällisyyden vuoksi (Heikura ym. 2018). Lisäksi ruoka- ja harjoituspäiväkirjoista voidaan saada myös arvokasta tietoa vaikuttavista elementeistä, kuten ruokailun säännöllisyydestä ja ravintoainejakaumasta. Näiden tietojen avulla voidaan puuttua suurimpiin ongelmakohtiin, ja laatia ongelmien ratkaisuun jatkosuunnitelma. (Burke ym. 2018)

Energiansaataavuuden raja-arvot. Tutkimuksessa tutkittavat jaettiin energiansaataavuuden tason perusteella kolmeen ryhmään, joita olivat matalan, kohtalaisen ja optimaalisen energiansaataavuuden ryhmät. Kilpirauhashormoneja tarkasteltiin eritasoisten energiansaataavuuksien välillä, mutta vasten oletusta tilastollisesti merkitsevää eroa hormoneissa ei havaittu. Energiansaataavuuden määrittämisessä tapahtuneet mahdolliset virheelliset tulokset vaikuttavat merkittävästi myös tässä asetelmassa, sillä tutkittava saattaa kuulua todellisuudessa johonkin muuhun ryhmään kuin hänet tässä tilanteessa on jaettu.

Matalan energiansaataavuuden vaikutukset ovat hyvin yksilöllisiä, minkä vuoksi eri tasoiksi luokitellut tarkat rajat eivät ole käytännöllisiä. Mountjoyn ym. (2023) mukaan lukuja tulisikin pitää suuntaa antavina linjoina tiukkojen rajojen sijaan yksilöllisen vaihtelun vuoksi. Ryhmätasolla kuitenkin raja-arvojen mukainen luokittelutapa voi olla tutkimuksessa hyödyllistä, mutta tällaisissa tapauksissa raja-arvot tulisi valita kyseessä olevan tutkimusjoukon mukaan. Yleisimmin, ja tässäkin tutkimuksessa, käytetyt energiansaataavuuden raja-arvot on määritelty laboratorio-olosuhteissa urheilemattomille henkilöille (Heikura ym. 2021), eikä ole täysin sovellettavissa urheilijoille. Urheilijoiden elimistö on adaptoitunut eri tavoin sekä fyysiseen että psyykkiseen stressiin, jolloin elimistön toimintamekanismit voivat erota merkittävästi urheilemattomiin verrattuna (Cadegiani & Kater 2017).

Tutkimusjoukkoon liittyvät virhelähteet. Tutkimusjoukoksi valikoituivat ne henkilöt, joilla oli saatavilla kaikki tähän tutkimukseen tarvittavat taustatiedot, kuten ikä, pituus, paino ja kauden vaihe, sekä muuttujat, kuten energiansaataavuus ja kaikki kolme hormonia (VT3, VT4 ja TSH)

verinäytteestä. Urheilijoiden tasoa ei ollut tarkoin määritelty, mikä saattaa olla selittävänä tekijänä, miksi tulokset eivät täysin vastanneet aiempia tutkimustuloksia, mitkä on pääosin tehty huippu-urheilijoilla. Tutkittaviin liittyvät virhelähteet saattoivat olla yleisempiä ja merkittävämpiä palloilijoiden ryhmässä, minkä vuoksi tulokset eivät vastanneet aiempia tutkimustuloksia.

Tutkittavien ohjeistukseen liittyvät virhelähteet. Ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen täyttämistarkkuuden lisäksi urheilijoiden välillä on voinut olla eroja tutkimukseen valmistautumisessa. Tutkittaville annettiin ohjeet mittauspäivään valmistautumiseksi. Raskasta liikuntaa tuli välttää edellisenä päivänä sekä mittauspäiväamuna. Paasto oli kestoaltaan kymmenen tuntia. Ohjeistuksen noudattamista ei kontrolloitu, mikä on saattanut aiheuttaa virheellisiä tuloksia. Arkaderin ym. (2016) mukaan edellisen päivän fyysinen aktiivisuus vaikuttaa merkittävästi kilpirauhashormonitasoihin. TSH-tasot voivat pysyä korkeammalla jopa useita päiviä urheilusuorituksen jälkeen edistääkseen T3:n ja T4:n vapautumisen lisääntymistä (Arkrder ym. 2016). Tämän perusteella voidaan myös pohtia, olisiko raskasta fyysistä aktiivisuutta syytä välttää useampikin päivä ennen testaushetkeä.

Tutkimuksen ajankohtaan liittyvät virhelähteet. Tässä tutkimuksessa ei huomioitu kuukautiskierron ajankohtaa, mikä on saattanut vaikuttaa muun muassa kehonkoostumukseen (Thompson ym. 2021), energiansaantiin (Rogan & Black 2023) sekä suorituskyykyyn harjoituksissa (Pisapia ym. 2019). Energiansaanti ja suorituskyykyistä riippuvainen energiankulutus vaikuttavat suoraan tutkittavan laskennalliseen energiansaataavuuteen. Poikkileikkauksen ajankohdaksi valittiin harkiten kuitenkin urheilijoiden harjoituskausi, jotta kisapäivien mahdolliset poikkeukselliset toimet niin ruokailujen kuin harjoitustenkin osalta minimoitaisiin. Zandersin ym. (2021) mukaan naiskoripalloilijoiden ja Zabrieskin ym. (2019) mukaan lacrosse-urheilijoiden EA on alhaisimmillaan kilpailuun valmistavalla kaudella sekä itse kilpailukaudella. Zandersin ym. (2021) mukaan kaudenaikainen vaihtelu EA:ssa ei kuitenkaan ollut merkitsevä, toisinkuin Zabrieksin ym. (2019) havainnot osoittivat. Energiansaanti ja energiankulutus vaihtelivat kuitenkin molempien tutkimusten mukaan merkitsevästi kauden eri vaiheissa. Energiansaannin vaihtelun selittävänä voi olla esimerkiksi aiemmin mainitut kilpailumatkat. (Zabriesk ym. 2019; Zanders ym. 2021)

Tutkijoihin liittyvät virhelähteet. Virheellisiä tuloksia on voinut syntyä myös tutkijoihin liittyvistä tekijöistä. Näitä ovat esimerkiksi näppäily- ja kirjausvirheet (Burke ym. 2018). Lisäksi tutkimusprojektissa on ollut mukana monta tutkijaa sekä mittaajaa, joiden välinen vaihtelu on saattanut aiheuttaa eroja esimerkiksi ruokapäiväkirjojen kuvia MealLoggerista tulkittaessa.

8.5 Johtopäätökset ja jatkotutkimus

Energiansaatavuuden mittaaminen on taloudellista ja resurssiystävällistä sekä vain vähän teknologiaa vaativaa. Kuitenkin kyselylomakkeet yhdessä veren hormonipitoisuuksien kanssa tarjoavat objektiivisemmän ja tarkemman mittarin optimaalisesta energiansaatavuudesta ja urheilijan terveydentilasta (Heikura ym. 2018), minkä vuoksi niitä tulisi jatkotutkimuksissa suosia. Jos energiansaatavuutta menetelmänä halutaan kuitenkin sen resurssiystävällisyyden vuoksi käyttää, tulisi NEAT ottaa huomioon harjoituksen aikaisen energiankulutuksen lisäksi (Areta ym. 2021). Lisäksi menetelmät tulisi standardisoida (Heikura ym. 2018), jotta tutkimukset olisivat vertailukelpoisia keskenään.

Mountjoy ym. (2023) ovat todenneet LEAn lisäksi myös alhaisen hiilihydraattien saannin (*low carbohydrate availability, LCA*) olevan hyvin merkittävä muuttuja, kun tarkastellaan elimistön fysiologisia toimintoja. Jagimin ym. (2022) mukaan LCA:lla voi olla yhtä suuri tai jopa suurempi vaikutus terveyteen ja suorituskykyyn verrattuna pelkkään LEAan. EA:n laskukaava huomioi kokonaiskalorit, muttei ravintoaineiden jakaumaa. Tulevaisuudessa lisätutkimuksia LCA:n ja kilpirauhashormonitasojen yhteyksistä tarvitaan, jotta todelliset näiden väliset yhteydet saadaan selville (Jagim ym. 2022). Tutkimusaiheena LEA sekä LCA ovat kuitenkin haastavia, sillä ei ole eettistä rajoittaa tutkittavan energiansaatavuutta tai hiilihydraattien saantia etenkin pitkällä aikavälillä sen tiedossa olevien haittavaikutusten vuoksi. Tällöin tulevaisuuden tutkimuksissa tutkittavien määrän tulee olla suuri, jotta halutuista muuttujista saadaan riittävästi aineistoa.

Pitkittäistutkimukset ovat syy-seuraussuhteiden selvittämiseen poikkileikkaustutkimuksia parempi vaihtoehto (Kesmodel ym. 2018), minkä vuoksi voisivat soveltua näiden aiheiden tutkimiseen poikittaismenetelmää paremmin. Pitkittäistutkimus vaatii kuitenkin niin tutkittavilta kuin tutkijoilta enemmän resursseja ja sitoutumiskykyä poikittaismenetelmään

verrattuna. Mountjoyn ym. (2023) mukaan uusimmista REDs/LEA-tutkimuksista poikkileikkaustutkimuksia oli noin 62 %, pitkittäistutkimuksia noin 14 % ja pitkittäisiä interventioita noin 12 %. Interventiotutkimusten haasteena on saatujen tutkimustulosten yleistämisen pätevyys urheilijan todelliseen arkeen.

Riittävä energiansaataavuus sekä optimaalinen kilpirauhasen toiminta ovat urheilijoiden suorituskyvyn ja palautumisen kannalta hyvin oleellisia tekijöitä. Kilpirauhasen toimintaan vaikuttaa - LEA:n kanssa tai ilman - Mullurin ym. (2014) mukaan moni tekijä, kuten hypotalamus, autonominen hermosto, muut hormonit sekä entsyymitoiminta, joten tutkimuskohteena se ei ole yksinkertainen. Kilpirauhashomonioiden seuranta voi antaa Nicollin ym. (2018) mukaan arvokasta tietoa urheilijan yleisestä harjoittelutilasta, sillä kilpirauhashormoneissa tapahtuvat muutokset tai kliinisesti alhaiset arvot voivat olla yhteydessä urheilijan valmiustasoon kilpailla, etenkin kilpailukauden loppuvaiheessa. Lisäksi ylikuormittuneilla urheilijoilla on havaittu erilaisia fyysisen aktiivisuuden aiheuttamia akuutteja vasteita kilpirauhashormonitasoihin. Lepotasojen lisäksi tulisi mitata akuutteja hormonitasojen muutoksia, mitkä voivat toimia yhtenä markkerina ylikuormittuneen urheilijan tunnistamiseen. (Cadegiani & Kater)

Hormoneja mitattaessa tulee huomioida urheilijoiden ja urheilemattomien erot adaptaatioissa. Nicoll ym. (2018) ovat ehdottaneet, että urheilijoille luotaisiin omat hormonipitoisuuksien viitearvot. Gildin ym. (2022) mukaan kilpirauhaslääkitykset ovat urheilijoiden keskuudessa urheilemattomiin henkilöihin verrattuna yleisempiä, vaikka kilpirauhasen vajaatoiminnan esiintyvyys ei välttämättä ole. Tämä kertoo Gildin ym. (2022) mukaan siitä, että alhaisia kilpirauhashormonitasoja hoidetaan liian herkästi lääkityksellä, vaikka todellinen syy saattaa olla esimerkiksi tämänkin tutkimuksen tarkastelussa oleva matala energiansaataavuus. Gild ym. (2022) mainitsevat myös huolen siitä, että kilpirauhaslääkkeitä käytettäisiin doping aineena. Ne eivät kuitenkaan WADAn luokituksen mukaan lukeudu kiellettyihin aineisiin, sillä niillä ei tutkimusten mukaan ole todettu hyötyä suorituskykyyn tilanteissa, joissa todellista kilpirauhasen kliinistä vajaa- tai liikatoimintaa ei ole. Vaikutukset ovat saattavat olla jopa haitaksi urheilijan terveydelle ja suorituskyvylle (Gild ym. 2022).

Päätelmänä tutkielmasta voidaan todeta, että tutkimuksen ja sitä kautta tietoisuuden lisääminen matalasta energiansaataavuudesta, sekä sen aiheuttamista fysiologisista ja psykologisista muutoksista eri urheilulajeissa, on tulevaisuudessa tärkeää. Kilpirauhashormoneista aiemman

tutkimusnäytön valossa VT3 on pätevä hormoni mittauksiin, sillä se kertoo osansa elimistön aineenvaihdunnallisesta tilasta ja voi täten toimia yhtenä muuttujana urheilijan terveyttä ja suoritusvalmiutta seurattaessa (Nicoll ym. 2018). Yksinään hormoni ei kuitenkaan anna riittävää perustetta tehdä johtopäätöksiä, vaan mitattavia muuttujia tulisi olla useampia. Erilaisten verimuuttujien lisäksi kyselylomakkeiden käytön on todettu antavan luotettavaa tietoa ja näin parantavan kokonaiskuvan hahmottamista (Heikura ym. 2018).

Valmentajan näkökulmasta katsottuna kyselylomakkeet voivatkin olla sensitiivisempi ja käytännöllisempi tapa lähestyä urheilijaa tämän terveyden ja suorituskyvyn tilan arvioinnissa. Seuranta vaatii kuitenkin säännöllisyyttä sekä osaamista tuloksien tulkinnassa, jotta mahdolliset syy-seuraussuhteet ovat aineistosta havaittavissa. Säännöllisyys korostuu etenkin joukkuelajeissa, kuten palloilulajeissa, joissa kausi on hyvin pitkä, ja urheilijoiden suorituskyvyn tulee pysyä yllä läpi koko tämän ajan. Tutkimustietoa valmentajien osaamisesta on vasta melko vähän, mutta tähän mennessä havainnot ovat hyvin yksimielisiä siitä, että osaaminen on heikkoa. Haasteiksi valmentajien kouluttautumisen esteeksi on esitetty muun muassa ajan ja resurssien puutetta, olemassa olevien väärentyneiden uskomusten ja tietojen vaikutusta sekä vähäistä organisaatioiden antamaa tukea (Hamer ym. 2021). Haasteista huolimatta valmentajien kouluttamista tulisi jatkaa, sillä heidän roolinsa urheilijan terveyden ja suorituskyvyn edistämässä on hyvin merkittävä (Charlton ym. 2022). Tutkimustiedon tuottaminen monipuolisesti eri lajeista voi tehdä aiheesta helposti lähestyttävämmän kenttätason toimijoille, kuten valmentajille, kun ymmärrys siitä, että asia voi koskea myös heidän edustamaansa lajia, lisääntyy.

LÄHTEET

- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., & Müller, W. (2012). Current status of body composition assessment in sport: review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the IOC Medical Commission. *Sports medicine*, 42, 227-249. doi: 10.2165/11597140-000000000-00000
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett Jr, D. R., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C. & Leon, A. S. (2011). Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Medicine & science in sports & exercise*, 43(8), 1575-1581. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821ece12
- 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: 10.1007/s00421-020-04516-0
- Arkader, R., Rosa, M. R. & Moretti, G. (2016). Physiological changes of exercise of thermogenesis, thyroid homeostasis and inflammation. *Endocrinology & Metabolism International Journal*. 3. Painos. (4). 85–88. doi: 10.15406/emij.2016.03.00055
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24(07), 665-674. doi: 10.1080/02640410500482529
- Barron, E., Sokoloff, N. C., Maffazioli, G. D., Ackerman, K. E., Woolley, R., Holmes, T. M., Anderson, E.J. & Misra, M. (2016). Diets high in fiber and vegetable protein are associated with low lumbar bone mineral density in young athletes with oligoamenorrhea. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 481-489.
- Berga, S. L., Mortola, J. F., Girton, L., Suh, B., Laughlin, G., Pham, P., & Yen, S. S. C. (1989). Neuroendocrine aberrations in women with functional hypothalamic amenorrhea. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 68(2), 301-308. doi: 10.1210/jcem-68-2-301

- Braun, H., von Andrian-Werburg, J., Schänzer, W., & Thevis, M. (2018). Nutrition status of young elite female German football players. *Pediatric exercise science*, 30(1), 157-167. doi: 10.1123/pes.2017-0072
- Bronson, F. H. (1985). Mammalian reproduction: an ecological perspective. *Biology of reproduction*, 32(1), 1-26. doi: 10.1095/biolreprod32.1.1
- Burke, L. M., Cox, G. R., Cummings, N. K., & Desbrow, B. (2001). Guidelines for daily carbohydrate intake: do athletes achieve them?. *Sports medicine*, 31, 267-299. doi: 10.2165/00007256-200131040-00003
- 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: org/10.1123/ijsnem.2018-0142
- Cadegiani, F. A. & Kater, C. E. (2017). Hormonal aspects of overtraining syndrome: A systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 9(1), 14. doi: 10.1186/s13102-017-0079-8
- 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: 10.1088/0967-3334/35/2/253
- Charlton, B. T., Forsyth, S., & Clarke, D. C. (2022). Low Energy Availability and Relative Energy Deficiency in Sport: What Coaches Should Know. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(2), 445-460. doi: 10.1177/17479541211054458
- Ciloglu, F., Peker, I., Pehlivan, A., Karacabey, K., İlhan, N., Saygin, O., & Ozmerdivenli, R. (2005). Exercise intensity and its effects on thyroid hormones. *Neuroendocrinology letters*, 26(6), 830-834.
- Costa, P. B., Richmond, S. R., Smith, C. R., Currier, B., Stecker, R. A., Gieske, B. T., Kemp, K., Witherbee, K. E. & Kerksick, C. M. (2019). Physiologic, metabolic, and nutritional attributes of collegiate synchronized swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(5), 658-664. doi: 10.1123/ijsp.2018-0547

- Cunningham, J. J. (1991). Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and a proposed general prediction equation. *The American journal of clinical nutrition*, 54(6), 963-969.
- 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: 10.1007/s42000-020-00214-w
- 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: 10.1123/ijsnem.2018-0127.
- Estour, B., Germain, N., Diconne, E., Frere, D., Cottet-Emard, J.M., Carrot, G., Lang, F. and Galusca, B., 2010. Hormonal profile heterogeneity and short-term physical risk in restrictive anorexia nervosa. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 95(5), pp.2203-2210. doi: 10.1210/jc.2009-2608
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2020). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14. ed. Philadelphia, USA: Elsevier, 941–953, 883.
- Gordon, C. M., Ackerman, K. E., Berga, S. L., Kaplan, J. R., Mastorakos, G., Misra, M., Murad, M. H., Santoro, N.F. & Warren, M. P. (2017). Functional hypothalamic amenorrhea: an endocrine society clinical practice guideline. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 102(5), 1413-1439. doi: 10.1210/jc.2017-00131
- Gild, M. L., Stuart, M., Clifton-Bligh, R. J., Kinahan, A., & Handelsman, D. J. (2022). Thyroid hormone abuse in elite sports: the regulatory challenge. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 107(9), e3562-e3573. doi: 10.1210/clinem/dgac223
- Hamer, J., Desbrow, B., & Irwin, C. (2023). A review exploring coach knowledge, attitudes/beliefs and behaviours towards low energy availability in athletes. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 18(3), 945-969. doi: 10.1177/1747954122114
- 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: 10.1123/ijsnem.2017-0313
- Heikura, I. (2021). Suhteellinen energiavaje urheilussa. Teoksessa O. Ilander (toim.). *Liikuntaravitsemus 3.0*. Lahti: VK-Kustannus Oy, 17–41.
- Hoch, A. Z., Pajewski, N. M., Moraski, L., Carrera, G. F., Wilson, C. R., Hoffmann, R. G., Schimke, J. E. & Gutterman, D. D. (2009). Prevalence of the female athlete triad in high school athletes and sedentary students. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 19(5), p.421. doi: 10.1097/JSM.0b013e3181b8c136.
- Hulmi, J. J., Isola, V., Suonpää, M., Järvinen, N. J., Kokkonen, M., Wennerström, A., Nyman, K., Perola, M., Ahtiainen, J. P. & Häkkinen, K. (2017). The effects of intensive weight reduction on body composition and serum hormones in female fitness competitors. *Frontiers in physiology*, 7, 689. doi: 10.3389/fphys.2016.00689
- Huslab. Tutkimusohjekirja. Tyroksiini. Verkkosivu. Viitattu 14.6.2023. Viimeisin päivitys: 14.06.2023. https://huslab.fi/cgi-bin/ohjekirja/tt_show.exe?assay=4832&terms=t4
- Huslab. Tutkimusohjekirja. Trijodityroniini. Verkkosivu. Viitattu 14.6.2023. Viimeisin päivitys: 14.06.2023. <https://huslab.fi/ohjekirja/6362.html#>
- Huslab. Tutkimusohjekirja. Tyreotropiini. Verkkosivu. Viitattu 14.6.2023. Viimeisin päivitys: 14.06.2023. https://huslab.fi/cgi-bin/ohjekirja/tt_show.exe?assay=4831&terms=tsh
- Jagim, A. R., Fields, J., Magee, M. K., Kerksick, C. M., & Jones, M. T. (2022). Contributing factors to low energy availability in female athletes: a narrative review of energy availability, training demands, nutrition barriers, body image, and disordered eating. *Nutrients*, 14(5), 986. doi: 10.3390/nu14050986
- Jetté, M., Sidney, K., & Blümchen, G. (1990). Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinical cardiology*, 13(8), 555-565. doi: 10.1002/clc.4960130809
- Kesmodel, U. S. (2018). Cross-sectional studies—what are they good for?. *Acta obstetrica et gynecologica Scandinavica*, 97(4), 388-393. doi: 10.1111/aogs.13331

- Koehler, K., Achtzehn, S., Braun, H., Mester, J., & Schaenzer, W. (2013). Comparison of self-reported energy availability and metabolic hormones to assess adequacy of dietary energy intake in young elite athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(7), 725–733. doi: 10.1139/apnm-2012-0373
- Koehler, K., Hoerner, N. R., Gibbs, J. C., Zinner, C., Braun, H., De Souza, M. J., & Schaenzer, W. (2016). Low energy availability in exercising men is associated with reduced leptin and insulin but not with changes in other metabolic hormones. *Journal of sports sciences*, 34(20), 1921-1929. doi: 10.1080/02640414.2016.1142109
- Logue, M. D., Madigan, S. M., Melin, A., Delahunt, E., Heinen, M., Mc Donnell, S-J., & Corish, C. A. (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. doi: 10.3390/nu12030835
- Loucks, A. B. (2006). The response of luteinizing hormone pulsatility to 5 days of low energy availability disappears by 14 years of gynecological age. *J Clin Endocrinol Metab* 91:3158–3164. doi: 10.1210/jc.2006-0570
- Loucks, A. B. & Callister, R. (1993). Induction and prevention of low-T3 syndrome in exercising women. *Am J Physiol-Regul Integr Comp Physiol* 264:R924–R930. doi: 10.1152/ajpregu.1993.264.5.R924
- Loucks, A. B., & Heath, E. M. (1994a). Induction of low-T3 syndrome in exercising women occurs at a threshold of energy availability. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 266(3), R817-R823.
- Loucks, A. B., Heath, E. M. (1994b). Dietary restriction reduces luteinizing hormone (LH) pulse frequency during waking hours and increases LH pulse amplitude during sleep in young menstruating women. *J Clin Endocrinol Metab* 78:910–915. <https://doi.org/10.1210/jcem.78.4.8157720>
- Loucks, A. B., Kiens, B. & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of sports sciences*, 29 (1), 7–15. doi: 10.1080/02640414.2011.588958

- Loucks, A. B., Laughlin, G. A., Mortola, J. F., Girton, L., Nelson, J. C., Yen, S. S. (1992). Hypothalamic-pituitary-thyroidal function in eumenorrheic and amenorrheic athletes. *J Clin Endocrinol Metab* 75:514–518. doi: 10.1210/jcem.75.2.1639953
- 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: 10.1210/jc.2002-020369
- Loucks, A. B., Verdun, M. (1998). Slow restoration of LH pulsatility by refeeding in energetically disrupted women. *Am J Physiol* 275:R1218–1226. doi: 10.1152/ajpregu.1998.275.4.R1218
- Loucks, A. B., Verdun, M., & Heath, E. M. (1998). Low energy availability, not stress of exercise, alters LH pulsatility in exercising women. *Journal of applied physiology*. doi: 10.1152/jappl.1998.84.1.37
- Magee, M. K., Lockard, B. L., Zabriskie, H. A., Schaefer, A. Q., Luedke, J. A., Erickson, J. L., Jones, M. T. & Jagim, A.R. (2020). Prevalence of Low Energy Availability in Collegiate Women Soccer Athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 5(4):96. doi: 10.3390/jfmk5040096
- Martinsen, M., & Sundgot-Borgen, J. (2013). Higher prevalence of eating disorders among adolescent elite athletes than controls. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(6), 1188-1197. doi: 10.1249/MSS.0b013e318281a939
- McArdle, W. D., Katch V. L. (2015). *Exercise Physiology, Energy, Nutrition and Human Performance*. Baltimore, ML, USA: Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 9781451191554 978-1-4511-9383-1 1451191553. 419-421.
- McCall, L. M., & Ackerman, K. E. (2019). Endocrine and metabolic repercussions of relative energy deficiency in sport. *Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research*, 9, 56-65. doi: 10.1016/j.coemr.2019.07.005
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Møller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., Sidelmann, J.J., Aziz, M. & Sjödín, A. (2015). 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

- Misra, M., & Klibanski, A. (2014). Endocrine consequences of anorexia nervosa. *The lancet Diabetes & endocrinology*, 2(7), 581-592. doi: 10.1016/S2213-8587(13)70180-3
- Mountjoy, M., Ackerman, K. E., Bailey, D. M., Burke, L. M., Constantini, N., Hackney, A. C., Heikura, I.A., Melin, A., Pensgaard, A.M., Stellingwerff, T., Sundgot-Borgen, J. K., Torstveit, K., Jacobsen, A. U. Verhagen, E., Budgett, R., Engebretsen, L. & Erdener, U. (2023). 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *British journal of sports medicine*, 57(17), 1073-1097. doi: 10.1136/bjsports-2023-106994
- 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., Torstveit, M. K. & 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. doi: 10.1136/bjsports-2018-099193.
- 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. doi: /10.1136/bjsports-2014-093502
- Mullur, R., Liu, Y. Y., & Brent, G. A. (2014). Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiological reviews*. doi: 10.1152/physrev.00030.2013
- Nicoll, J. X., Hatfield, D. L., Melanson, K. J., & Nasin, C. S. (2018). Thyroid hormones and commonly cited symptoms of overtraining in collegiate female endurance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), 65–73. doi: 10.1007/s00421-017-3723-9
- Papageorgiou, M., Elliott-Sale, K. J., Parsons, A., Tang, J. C. Y., Greeves, J. P., Fraser, W. D., Sale, C. (2017). Effects of reduced energy availability on bone metabolism in women and men. *Bone* 105:191–199. doi: 10.1016/j.bone.2017.08.019
- Papageorgiou, M., Martin, D., Colgan, H., Cooper, S., Greeves, J. P., Tang, J. C., Fraser, W. D., Elliott-Sale, K. J. & Sale, C. (2018). Bone metabolic responses to low energy

- availability achieved by diet or exercise in active eumenorrheic women. *Bone*, 114, 181-188. doi: 10.1016/j.bone.2018.06.016
- Perseghin, G., Lattuada, G., Ragona, F., Alberti, G., La Torre, A., & Luzi, L. (2009). Free leptin index and thyroid function in male highly trained athletes. *European journal of endocrinology*, 161(6), 871-876. doi: 10.1530/EJE-09-0569
- Pisapia, F., Senatore, B., & Fattore, S. (2019). Correlation between menstrual cycle and performance. *Journal of Physical Education and Sport*, 19, 1972-1975. doi:10.7752/jpes.2019.s5293
- Reed, J. L., De Souza, M. J., Kindler, J. M. & Williams, N. I. (2014). Nutritional practices associated with low energy availability in Division I female soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 32(16), 1499–1509. doi: 10.1080/02640414.2014.908321
- Rogan, M. M., & Black, K. E. (2023). Dietary energy intake across the menstrual cycle: a narrative review. *Nutrition reviews*, 81(7), 869-886. doi: 10.1093/nutrit/nuac094
- Schaal, K., VanLoan, M. D., Hausswirth, C. & Casazza, G. A. (2021). Decreased energy availability during training overload is associated with non-functional overreaching and suppressed ovarian function in female runners. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 46(10), 1179–1188. doi: 10.1139/apnm-2020-0880
- Silva, M. R. G., Silva, H. H., & Paiva, T. (2018). Sleep duration, body composition, dietary profile and eating behaviours among children and adolescents: a comparison between Portuguese acrobatic gymnasts. *European journal of pediatrics*, 177, 815-825. doi: 10.1007/s00431-018-3124-z
- Sundgot-Borgen, J., & Torstveit, M. (2010). Aspects of disordered eating continuum in elite high-intensity sports. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 112-121. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01190.x
- Sundgot-Borgen, J., Meyer, N. L., Lohman, T. G., Ackland, T. R., Maughan, R. J., Stewart, A. D., & Müller, W. (2013). How to minimise the health risks to athletes who compete in weight-sensitive sports review and position statement on behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance, under the

auspices of the IOC Medical Commission. *British journal of sports medicine*, 47(16), 1012-1022. doi: 10.1136/bjsports-2013-092966

Terveurheilija. Energiaravintoaineet. Viitattu: 29.11.2023 <https://terveurheilija.fi/urheilijan-ravitsemus/ravintoaineet/#hiilihydraatit>

Thompson, B. M., Hillebrandt, H. L., Sculley, D. V., Barba-Moreno, L., & Janse de Jonge, X. A. (2021). The acute effect of the menstrual cycle and oral contraceptive cycle on measures of body composition. *European journal of applied physiology*, 121, 3051-3059. doi: 10.1007/s00421-021-04771-9

Tipton, K. D. (2015). Nutritional support for exercise-induced injuries. *Sports Medicine*, 45., 93-104. doi: 10.1007/s40279-015-0398-4

Torres-McGehee, T. M., Emerson, D. M., Pritchett, K., Moore, E. M., Smith, A. B., & Uriegas, N. A. (2021). Energy availability with or without eating disorder risk in collegiate female athletes and performing artists. *Journal of athletic training*, 56(9), 993-1002. doi: 10.4085/JAT0502-20

Zabriskie, H., Currier, B., Harty, P., Stecker, R., Jagim, A. & Kerksick, C. (2019). Energy Status and Body Composition Across a Collegiate Women's Lacrosse Season. *Nutrients*, 11(2), 470. doi: 10.3390/nu11020470

Zanders, B. R., Currier, B. S., Harty, P. S., Zabriskie, H. A., Smith, C. R., Stecker, R. A., Richmond, S. R., Jagim, A. R. & Kerksick, C. M. (2021). Changes in Energy Expenditure, Dietary Intake, and Energy Availability Across an Entire Collegiate Women's Basketball Season. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 804–810. doi: 10.1519/JSC.0000000000002783