

ALHAISEN ENERGIAN SAATAVUUDEN VAIKUTUKSET URHEILI-  
JOIDEN TERVEYTEEN: KIRJALLISUUSKATSAUS

Marianne Kosonen  
Opinnäytetyö  
Lääketieteen koulutusohjelma  
Itä-Suomen Yliopisto  
Terveystieteiden tiedekunta  
Lääketieteen laitos / Liikuntalääketiede  
Toukokuu 2019

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO, Terveystieteiden tiedekunta

Lääketieteen laitos

Lääketieteen koulutusohjelma

KOSONEN, MIA MARIANNE: Alhaisen energian saatavuuden vaikutukset urheilijoiden

terveyteen: kirjallisuuskatsaus

Opinnäytetutkielma, 44 sivua

Tutkielman ohjaajat: dosentti Mursu, J., professori Tikkanen, H.

Toukokuu 2019

Asiasanat: alhainen energian saatavuus, häiriintynyt syömiskäyttäytyminen, naisurheilijan oireyhtymä, suhteellinen energiavaje urheilussa

Aktiivisen kulutuksen lisäksi energiaa tarvitaan päivittäin kehon perustoimintojen ylläpitoon. Energian saatavuus kertoo, kuinka paljon energiaa elimistöllä on käytettävissä muun muassa aineenvaihduntaan, kasvuun, immuuni- ja hormonitoimintaan. Alhainen energian saatavuus on varsin yleistä sekä nais- että miesurheilijoilla. Eritoten painokeskeisiä lajeja edustavat, laihuutta tavoittelevat ja loukkaantumisen tai muun kriisin kohdanneet urheilijat ovat riskiryhmässä. Usein urheilijan kroonisen energiavajeen taustalla on häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä tai syömishäiriö.

Tämän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli koota tietoa alhaiseen energian saatavuuteen liitetystä terveysvaikutuksista. Aiheesta tehtyjen tutkimusten mukaan alhainen energian saatavuus voi järkyttää hormonitasapainoa muun muassa lamaamalla sukupuolihormonien ja kilpirauhashormonin tuotantoa sekä estämällä kasvuhormonin anabolisia vaikutuksia. Hormonitoiminnan muutokset voivat aiheuttaa luuston haurastumista ja altistaa sydän- ja verenkiertoelimistön sairauksille. Lisäksi alhainen energian saatavuus voi heikentää vastustuskykyä, hidastaa kasvua ja lietsoa suolisto-oireita. Mieliala-, syömisynnä muut psyyken ongelmat voivat olla joko energiavajeen laukaiseva tekijä tai seuraamus. Suorituskyvyn suhteen alhainen energian saatavuus voi esimerkiksi heikentää voima- ja kestävyysominaisuuksia, lisätä loukkaantumisriskiä sekä kielteistä ajattelua.

Alhainen energian saatavuus on keskeisenä tekijänä sekä naisurheilijan oireyhtymässä että urheilijan suhteellisessa energiavajeessa (RED-S). Tutkijat halusivat tiedon leviävän urheilijoille ja heidän tukitiimeilleen ja määrittivät nämä kliinisesti diagnosoitavat elimistön häiriötilat. Muun muassa kuukautishäiriöt, laihtuminen tai loukkaantumisalttius viittaavat pitkittyneeseen energiavajeeseen. Mitä aikaisemmin tilaan puututaan, sitä todennäköisemmin muutokset jäävät lieviksi ja palautuvat ennalleen riittävällä energiansaannilla. Harmillisesti lievästä tai alkuvaiheen energiavajeesta kärsivää urheilijaa on yleensä hankalaa tunnistaa, jos fyysisiä oireita ei ilmene. Tulevaisuuden haasteena on parantaa alhaisen energian saatavuuden varhaista tunnistettavuutta. Lisäksi sekoittavien tekijöiden kuten stressin, unen ja harjoittelun vaikutus kokonaisuuteen tulisi jatkossa huomioida tutkimuksissa paremmin.

UNIVERSITY OF EASTERN FINLAND, Faculty of Health Sciences  
School of Medicine  
Medicine

KOSONEN, MIA MARIANNE: Effects of low energy availability in athletes' health: literature review

Thesis, 44 pages

Tutors: Mursu, J., docent, Tikkanen, H., professor

May 2019

Keywords: low energy availability, disordered eating, female athlete triad, relative energy deficiency in sport (RED-S)

In addition to exercise energy expenditure, an athlete needs energy for basic body functions. Energy availability describes how much energy the body can use for metabolism, growth, immune and hormone function et cetera. Low energy availability is quite common among female and male athletes. Especially athletes who represent weight-sensitive sports, emphasize leanness and are injured or going through another crisis are at risk. Relative energy deficiency is often associated with disordered eating or eating disorders.

The aim of this systematic literature review was to summarize health risks related to low energy availability. Studies have shown that low energy availability can shake the hormonal balance. For example, it can suppress the production of sex and thyroid hormones and block anabolic effects of growth hormone. Changes in hormonal function can result in low bone density and cardiovascular diseases. Moreover, low energy availability can impair immune function, delay growth and increase gastrointestinal symptoms. Mood disturbances, disordered eating and other psychological problems can precede or be caused by energy deficiency. Performance effects of low energy availability include decreased strength and endurance performance as well as increased risks of injury and negativity.

Concerning female athlete triad and relative energy deficiency in sport (RED-S), low energy availability is their main cause. Due to ardour to share their knowledge among sport populations and organizations, the researchers made diagnostic criterias for these syndromes. Disruption of menstrual function, losing weight and recurrent injuries indicate chronic energy deficiency. Early detection of situation and reaching adequate energy availability are critical to prevent long-term consequences. Unfortunately in lack of physical indications, it is hard to recognize an athlete with low energy availability. In the future, researchers could improve the early identification of low energy availability. In addition, they should take better into account other health factors such as stress, sleep and exercise.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA .....	7
2.1 Käsitteiden määrittely .....	7
2.2 Riittävä ja alhainen energian saatavuus .....	9
2.3 Alhaisen energian saatavuuden yleisyys urheilijoilla .....	10
2.4 Energiavajeen kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä .....	11
3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITTEET.....	12
4 AINEISTO JA MENETELMÄT .....	13
5 NAISURHEILIJAN OIREYHTYMÄ (TRIAD) .....	15
5.1 Kuukautiskierron häiriöt .....	16
5.2 Pienentynyt luuntiheys .....	17
5.3 Syömishäiriöt ja häiriintynyt syömiskäyttäytyminen .....	17
6 SUHTEELLINEN ENERGIAVAJE URHEILUSSA .....	19
6.1 Hormonitoiminta .....	20
6.2 Luusto.....	24
6.3 Ravitseminen .....	24
6.4 Immunitoiminta .....	25
6.5 Aineenvaihdunta ja kasvu .....	26
6.6 Sydän- ja verenkiertoelimistö .....	27
6.7 Ruoansulatuselimistö .....	28
6.8 Psyky .....	28
6.9 Vaikutukset suorituskyykyyn ja harjoitteluun .....	29
7 ALHAISEN ENERGIAN SAATAVUUDEN DIAGNOSOINTI .....	31
8 POHDINTA .....	33
LÄHTEET .....	35

## 1 JOHDANTO

Liikunta, monipuolinen ravitseminen ja riittävä uni luovat pohjan terveydelle ja yleiselle hyvinvoinnille. Urheilijoilla tämä kolminaisuus määrittelee myös suorituskyvyn ja kehityksen suunnan. Vääränlainen harjoittelu, ravitseminen tai levon puute voivat horjuttaa tasapainoa ja aiheuttaa ongelmia. Toisaalta jokaisella urheilijalla on erilainen ruumiinrakenne, aineenvaihdunta ja immuunipuolustus. Riippuu yksilöstä, mikä ruokavalio kenellekin parhaiten sopii. Tietyt perustekijät kuuluvat kuitenkin jokaiseen terveelliseen ruokavalioon kuten riittävä kokonaisenergia, hiilihydraattien, proteiinien ja rasvojen nauttiminen sekä välttämättömien vitamiinien ja kivennäisaineiden saanti (UKK-instituutti 2019).

Urheilijoiden aktiivisuus sekä lajien erityispiirteet asettavat ravitsemuksen suhteen omat haasteensa. Vaikka valtaväestö kärsii liiallisen energiansaannin aiheuttamista terveysongelmista, urheilijoilla tilanne on useimmiten päinvastainen. Energiaa ei syystä tai toisesta saada riittävästi kulutukseen nähden. Urheilijalla voi olla riittämättömät tiedot ravitsemuksesta tai harjoittelun kuormittavuudesta (Logue ym. 2018). Kilpaurheilijalle tyypilliset piirteet kuten perfektionismi ja kontrollinhakuisuus altistavat rajoittavalle tai muulla tavoin häiriintyneelle syömiskäyttäytymiselle (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010). Joissakin urheilulajeissa hoikkuuden ja alhaisen kehonpainon oletetaan parantavan menestymismahdollisuuksia, jolloin paineet laihduttamiseen ja ruokavalion jatkuvaan kontrollointiin ovat erityisen suuret. Osa painoluokkalajien edustajista taas rajoittaa syömistään ennen kilpailuja, jotta mahtuisi sarjaansa. Riittämätön energiansaanti onkin huomattavan yleinen ongelma urheilijoiden keskuudessa (Logue ym. 2018).

Naisurheilijoiden kuukautishäiriöistä alkunsa saanut tutkimustyö linkittyi jo alkuvaiheissa ravitsemustilaan. Kun ymmärrettiin, miten moneen eri elimistön toimintaan harjoittelun lisäksi energiaa kuluu, syntyi käsite energian saatavuus (Slater ym. 2017). Riittävä energian saatavuus takaa, että muun muassa hormonitoiminta, aineenvaihdunta ja immuunipuolustus toimivat normaalisti. Alhainen energian saatavuus lamauttaa näitä toimintoja, jotta energiaa olisi tarpeeksi käytössä elimistön välttämättömiin prosesseihin (Loucks 2004). Voidaan siis olettaa, että energian saatavuus vaikuttaa myös urheilijan terveydentilaan ja suorituskykyyn.

Alhaiseen energian saatavuuteen liittyviä terveysvaikutuksia on tutkittu usean vuosikymmenen ajan. Aineistoa erityisesti naisurheilijoille tehdyistä tutkimuksista on kertynyt paljon (Slater ym. 2017). Eri urheilulajien edustajille tehtyjä tutkimuksia on kuitenkin haastavaa vertailla, sillä lajien fyysiset ja ravitsemukselliset vaatimukset eroavat jonkin verran. Koska urheilijoissa lajin sisälläkin on suuria yksilöllisiä eroja, tärkeää olisi nähdä tutkimustulokset suuntaa-antavina ja hahmottaa niiden yleinen linja. Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on koota tietoa terveystilanteista, jotka tutkimuksissa ovat yhdistyneet urheilijoiden alhaiseen energian saatavuuteen.

## 2 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

### 2.1 Käsitteiden määrittely

**Energia-aineenvaihdunta (energy metabolism, EM)** on elimistössä alati toimiva prosessi, joka takaa energian ja rakennusaineiden saatavuuden. Solut tarvitsevat glukoosia tuottaakseen ATP-energiaa liikkumiseen, molekyylien kuljettamiseen ja kemiallisiin reaktioihin (Solunetti 2018). Aineenvaihdunta voi olla joko anabolista eli rakentavaa tai katabolista eli hajottavaa riippuen elimistön tilasta, ulkoisista ärsykkeistä sekä energian saatavuudesta.

**Energiankulutus (energy expenditure, EE)** tarkoittaa päivän aikana kulutettua energiamäärää. Erikseen voidaan määrittellä harjoitteluun kulutettu energia (exercise energy expenditure, EEE) ja kokonaisenergiankulutus (total energy expenditure, TEE), johon sisältyvät sekä aktiivisuudesta että lepoaineenvaihdunnasta johtuva kulutus.

**Energiansaanti (energy intake, EI)** tarkoittaa päivän aikana ravinnosta saatua kokonaisenergiämäärää.

**Energian saatavuus (energy availability, EA)** on aineenvaihdunnan tilaa määrittävä ominaisuus. Se kertoo, kuinka paljon energiaa elimistöllä on käytössä päivittäisiin fysiologisiin toimintoihin, kuten kasvun, hormonitoiminnan, lämmönsäätelyyn, immuunipuolustuksen ja lisääntymiskyvyn ylläpitoon. EA saadaan vähentämällä päivän aikana nautitusta energiasta harjoitteluun kulunut energiamäärä ja jakamalla erotus rasvattomalla kehonpainolla (fat free mass, FFM) (Loucks ym. 2011). Rasvakudoksen energiakulutus suhteessa kehon muihin kudoksiin on hyvin vähäistä. Siksi laskentakaavassa käytetään kehonkoostumusmittauksella määritettyä FFM-arvoa (Manore ym. 2007).

**Energiatasapaino (energy balance, EB)** kuvaa energia-aineenvaihdunnan tilaa. Se määritetään vähentämällä energiansaannista kokonaisenergiankulutus (Loucks 2007). Jos saanti

on suurempaa kuin kulutus, EB on positiivinen. Urheilijan tulisi aina pyrkiä positiiviseen energiatasapainoon, jotta energiaa olisi riittävästi myös palautumiseen ja lepoaineenvaihdunnan prosesseihin. Negatiivinen energiatasapaino tarkoittaa, että kulutus on saantia suurempaa ja elimistö on katabolisessa tilassa hajottaen omia kudoksiaan energiansaannin turvaamiseksi. Tuolloin elimistö myös vähentää energian tarvetta erilaisin kompensatiomekanismein.

**Naisurheilijan oireyhtymä (female athlete triad)** on terveyttä ja suorituskykyä uhkaava tila, jonka ilmenemismuotoja ovat alhainen energian saatavuus, kuukautiskierron häiriöt sekä luuston alentunut mineraalitiheys. Yksikin näistä kriteereistä voi riittää diagnoosiin ja ne määrittellään liukuvasti terveestä vaikeaan energiavajeeseen, hypotalamusperäiseen amenorreaan ja osteoporoosiin. Oireyhtymään liittyy usein myös häiriintynyt syömiskäyttäytyminen (Nattiv ym. 2007).

**Suhteellinen energiavaje** (energy deficiency) voi vaivata urheilijaa, vaikka hänen energiansaantinsa ja -kulutuksensa olisivat yhtä suuret ja kehonpaino vakaa. Tämä johtuu päivittäisestä perusenergiankulutusta vähentävistä muutoksista kuten aineenvaihdunnan hidastumisesta energiavajetilassa.

**Suhteellinen energiavaje urheilussa (relative energy deficiency in sport, RED-S)** on urheilijan terveydelle ja suorituskyvyille haitallinen tila. Kansainvälisen Olympiakomitean lanseerasi termin 2014 tuodakseen esille, että alhaisesta energian saatavuudesta voivat kärsiä yhtä hyvin miehet kuin naisetkin hyvin laajalla oirekirjolla. RED-S -oireyhtymään liittyvät muun muassa aineenvaihdunnan hidastuminen, hormonitoiminnan häiriöt, luuston haurastuminen, immuunipuolustuksen heikkeneminen sekä sydän- ja verenkiertoelimistön ongelmat (Mountjoy ym. 2014).



## 2.2 Riittävä ja alhainen energian saatavuus

Riittäväksi energian saatavuuden arvoksi terveillä naisurheilijoilla on määritelty vähintään 45 kcal/kg FFM/päivä (Ihle & Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003). Tuolloin urheilijan lisääntymis- ja luuston terveys ovat kunnossa, harjoitusvaste on hyvä ja suorituskyky optimaalinen. (Burke ym. 2018). Miehillä suositeltua arvoa energian saatavuudelle ei ole tarkennettu. Naisilla alhaisen energian saatavuuden raja-arvoksi on asetettu alle 30 kcal/kg FFM/päivä (Ihle & Loucks 2004; Loucks & Thuma 2003). Miehillä alhaisen energian saatavuuden raja-arvoksi on esitetty alle 20-25 kcal/kg FFM/päivä. Miehillä aihetta on tukittu huomattavasti vähemmän kuin naisilla, mutta heilläkin alhaiseen energian saatavuuteen on yhdistetty vastaavanlaisia terveyshaittoja (Fagerberg 2018).

Energiastatuksen määrittämiseen on käytetty myös energiatasapainon laskemista. Energia-aineenvaihdunnassa tapahtuu kuitenkin muutoksia kehon adaptoituessa alhaiseen energian saatavuuteen. Keho voi olla energiatasapainossa, ja urheilija voi kuluttaa ja saada yhtä paljon energiaa mutta kärsiä silti energian puutteesta. Siten energian saatavuus on parempi mittari urheilijoiden ravitsemustilan arviontiin kuin energiatasapaino (Loucks 2004).

Energian saatavuuden laskennallinen määrittäminen on kuitenkin osoittautunut haasteelliseksi. Tutkimuksissa energian saannin ja kulutuksen arviointi on perustunut usein urheilijan omiin ruoka- ja harjoituspäiväkirjamerkintöihin sekä haastatteluihin. Tämä on aiheuttanut energian saatavuutta laskettaessa virhemarginaalia niin ala- kuin yläkanttiin. Muitakin määrittämisskeemoja on, kuten kulutuksen laskentaan ympärivuorokautinen sykeseuranta, mutta ne ovat huomattavasti hankalampia toteuttaa. Energiavajeen tunnistamiseen kehitetyt kyselykaavakkeet, kuten esimerkiksi Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q), ovat osoittautuneet varmemmiksi diagnoosimenetelmiksi kuin yksittäiset energian saatavuuden laskennalliset määrittäykset (Burke ym. 2018; Logue ym. 2018).

### 2.3 Alhaisen energian saatavuuden yleisyys urheilijoilla

Urheilijoiden alhainen energian saatavuus näyttäisi olevan melko yleistä. Loguen ym. (2018) tekemän kokoelma-artikkelin mukaan alhaisen energian saatavuuden esiintyvyys vaihtelee 6-100% välillä riippuen tutkimusmenetelmästä, urheilulajista sekä harjoituskauden vaiheesta. Tutkimuksia, jotka ovat tarkastelleet sekä nais- että miesurheilijoita, on tehty niukasti. Niiden mukaan esiintyvyydessä ei ole eroa sukupuolten välillä. Urheilijan iällä ei myöskään vaikuttaisi olevan merkitystä. Korkeita esiintyvyyksilukuja on mitattu niin nuorissa (keski-ikä > 16) kuin vanhemmissakin (keski-ikä > 42) urheilijajoukoissa. Eräissä uimareita, kestävyysurheilijoita, balettianssijoita ja jockeymiehiä käsitelleissä tutkimuksissa koko tutkittavan ryhmän on havaittu kärsineen alhaisesta energian saatavuudesta. Pieinin esiintyvyys oli taas pikamatkojen ja heittolajien edustajilla (Logue ym. 2018). Heikura ym. (2008) tarkastelivat keski- ja pitkän matkan juoksijoita, joista alhainen energian saatavuus havaittiin 31 %:lla naisista ja 25 %:lla miehistä. Melin ym. (2015) tutkivat naispuolisia kestävyysurheilijoita, joista 63 %:lla energian saatavuus oli riittämätöntä ja 23 %:lla diagnosoitiin naisurheilijan oireyhtymän kaikki kolme oiretta. Gibbsin ym. (2013) laatiman yhteenvedon mukaan 16-60% naisurheilijoista kärsii naisurheilijan oireyhtymän yhdestä oireesta ja 0-16% kaikista kolmesta oireesta.

Miesurheilijoiden alttius häiriintyneeseen syömiskäyttäytymiseen vaikuttaisi olevan pienempi kuin naisurheilijoiden. Molemmilla sukupuolilla syömisongelmat ovat kuitenkin yleisempiä kuin ei-urheiluvilla verrokeilla. Suomishäiriöitä esiintyy suhteellisen paljon urheilijoilla, erityisesti niiden lajien edustajilla, joilla paino tai laihuus ovat keskeisessä osassa urheilusuoritusta (Sundgot-Borgen & Torstveit 2004). Sundgot-Borgen & Torstveit (2004) raportoivat, että syömishäiriöstä kärsii 24 % naispuolisista ja 9 % miespuolisista kestävyysurheilijoista. Pikamatkojen ja heittolajien edustajilla vastaavat esiintyvyyksiluvut olivat 6 % ja 3 % (Sundgot-Borgen & Torstveit 2004). Torstveitin ym. (2008) tutkimuksen mukaan kliininen syömishäiriö havaittiin 46,7 %:lla painokeskeisiä lajeja edustavista naisurheilijoista. Muiden lajien edustajilla syömishäiriöiden yleisyys oli 19,8 % ja ei-urheiluvilla kontrollinaisilla 21,4%. Melin ym. (2015) raportoivat että heidän tutkimusryhmästään 25 % naiskestävyysjuoksijoista sairasti syömishäiriötä.

Alhaiseen energian saatavuuteen yhdistyvät lajit voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Gravi-  
taatiolajeissa, kuten hyppy- ja juoksulajeissa, ylimääräinen massa lisää mekaanista työtä  
painovoimaa vastaan. Painoluokkalajeissa, kuten kamppailu-urheilussa ja painonnostossa,  
osa urheilijoista kokee saavansa etua tekemällä rajuja painonpudotuksia omaa kehonpaino-  
aan alempaan painoluokkaan. Esteettisissä lajeissa, kuten voimistelussa, taitoluistelussa tai  
uimahypyissä, tuomarien arvostelun oletetaan kohdistuvan myös urheilijan ulkomuotoon ja  
suosivan hoikkuutta (Ackland ym. 2012). Alhaista energian saatavuutta esiintyy myös  
joukkue- ja voimalajien edustajilla, mutta huomattavasti vähemmän kuin edellä mainituilla  
riskiryhmillä (Logue ym. 2018)

## **2.4 Energiavajeen kehittymiseen vaikuttavia tekijöitä**

Urheilijan energiankulutus voi olla niin suurta, ettei hän kykene terveellistä ruokavaliota  
noudattamalla saamaan ravinnosta tarpeeksi kaloreita (Nattiv ym. 2007). Urheilija ei vält-  
tämättä ymmärrä harjoittelun ja ravitsemuksen yhteyttä eikä osaa syödä kulutukseen näh-  
den tarpeeksi. Nälän tunne ei urheilijoilla riitä kertomaan energiansaannin riittävyystä. Tä-  
hän voi osasyynä olla harjoittelun aikana erittyvien hormonien ruokahalua hillitsevä vaiku-  
tus (Martins ym. 2007). On myös mahdollista, että energiantarve kasvaa äkisti esimerkiksi  
kovan harjoittelujakson aikana. (Nattiv ym. 2007). Tällöin tilanne voi korjautua helposti  
sillä, että urheilijan tietoutta asiasta lisätään esimerkiksi ravitsemusterapeutin tapaamisilla.

Alhaisen energian saatavuuden taustalla voi tosin olla tietoista energiansaannin rajoitta-  
mista. Urheilija voi kuvitella, että syömistä vähentäessään hän laihtuu ja hänen kehonkoos-  
tumuksensa tai suorituskykynsä paranee (Gibbs ym. 2011). Taustalla voi olla loukkaantu-  
misesta tai muusta äkillisestä kriisistä johtuva harjoittelutauko, joka aiheuttaa lihomisen  
pelkoa (Mervaala ym. 2019). Myös muut kilpailulliset tai yksityiselämän takaiskut, vaikeu-  
det urheilu-uran ja muun elämän yhdistämisessä sekä tukiverkoston puute voivat laukaista  
tai vaikeuttaa syömisongelmia (Sundgot-Borgen 1994). Kun ruokavaliota ja ruokailutavat  
muuttuvat joustamattomiksi, puhutaan häiriintyneestä syömiskäyttäytymisestä. Sen vaka-  
vimmat muodot diagnosoidaan syömishäiriöiksi. Kunnollisen ja menestyvän urheilijan  
piirteiksi mielletyt tunnollisuus, kunnianhimoisuus ja tavoitteellisuus ovat häiriintynyttä  
syömiskäyttäytymistä ruokkivia ominaisuuksia (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010).

### 3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITTEET

Alhainen energian saatavuus on lukuisten huippu-urheilijoiden terveyteen ja kehitykseen vaikuttava ongelma. Tutkimuksia aiheesta on viime vuosikymmeninä kertynyt paljon, mutta tieto on melko hajanaista tutkimusten erilaisista näkökulmista ja tutkittavista urheilulajeista johtuen. Aihetta kokoaville artikkeleille ja katsauksille on tarvetta. Suomeksi aiheesta on vain muutamia tutkimusjulkaisuja ja artikkeleita.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on koota tietoa siitä, mitä alhaisella energian saatavuudella tarkoitetaan ja miten se vaikuttaa urheilijoiden terveyteen. Tutkimuksen taustoissa avataan aihealueen käsitteistöä ja kerrotaan alhaisen energian saatavuuden yleisyydestä sekä suhteellisen energiavajeen kehittymiseen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksen pääpaino on alhaisesta energian saatavuudesta kärsivien urheilijoiden fyysisen ja psyykkisen terveydentilan muutoksissa. Myös energiavajeen vaikutusta suorituskykyyn tarkastellaan.

Tutkimuksen tavoitteena on:

- 1) selvittää, millaisia vaikutuksia alhaisella energian saatavuudella on urheilijoiden fyysiseen sekä psyykkiseen terveyteen.
- 2) tuoda esiin, mitä vaikutuksia alhaisella energian saatavuudella on urheilijan suorituskykyyn ja yleiseen hyvinvointiin.
- 3) esitellä alhaiseen energian saatavuuteen liittyviä ilmiöitä ja käsitteistöä.

## 4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tämä systemaattinen kirjallisuuskatsaus on lääketieteen lisensoitun tutkintoon kuuluva opinnäytetyö. Se kokoaa, tiivistää ja raportoi urheilijan alhaiseen energian saatavuuteen liittyvää tietoa. Aineistoksi on valittu aiheesta aiemmin julkaistuja tutkimuksia, joiden tulokset ovat verrattavissa kokooma-artikkeleissa (review) toistuviin linjoihin.

Naisurheilijoiden lisääntymis- ja luustoterveyttä on tutkittu noin 50 vuoden ajan. Alkuun tutkimus oli hyvin kapea-alaista, ja vasta viime vuosikymmeninä on ymmärretty alhaisen energian saatavuuden monimuotoinen merkitys urheilijan terveydelle (Slater ym. 2017). Kansainvälistä tutkimustietoa aiheesta julkaistaan kiihtyvällä tahdilla, joten tuoreita englanninkielisiä julkaisuja aiheesta on runsaasti saatavilla.

Aineiston keräämiseen käytettiin systemaattista kirjallisuushakua. Tärkeimpänä tietokantana toimi lääketieteen alan kansainvälisiä viitteitä ja julkaisulinkkejä tarjoava PubMed.

Sen hakulauseiksi valikoituivat seuraavat termit:

- “low energy availability”
- “relative energy deficiency in sport”
- “female athlete triad”
- “low energy availability” AND prevalence
- “low energy availability” AND consequence\*
- “low energy availability” AND “disordered eating”
- “low energy availability” AND “resting metabolic rate”
- "iron deficiency" AND reason AND sport

PubMed-hakua rajattiin koskemaan pelkkiä review-artikkeleita, jotka vastasivat parhaiten hakulauseita. Hakutuloksia kertyi yhteensä yli 50. Niistä valittiin otsikon, julkaisutietojen ja abstraktin perusteella aiheeseen parhaiten sopivimmat ja luotettavimmat artikkelit, jotka pääsääntöisesti oli julkaistu viimeisen viiden vuoden aikana. Yhtä tiettyä urheilulajia, paraurheilua sekä kuntoilijoita koskevat tutkimukset rajattiin pois. Lisäksi työhön otettiin

mukaan tutkimuksia, joihin viitattiin edellä mainittujen hakulauseiden perusteella löytyneissä review-artikkeleissa.

Kotimaisista tietokannoista Medic ja Terveysportti etsittiin tuloksia hakutermeillä energia-ansaan, energia-aineenvaihdunta ja “energian puute”. Aiheeseen liittyen löytyi ainoastaan yksi tuore katsausartikkeli naisurheilijan oireyhtymästä. Oheistietoa haettiin Terveysportista hakutermeillä “luuston kehitys”, endokrinologia, oksitosiini sekä “liikunnan vaikutukset sydän- ja verenkiertojärjestelmään” sekä Terveyskirjastosta hakusanoilla kuukautiskierto, rauta, rasva-arvot ja syömishäiriöt. Lisäksi Google-hakukoneen avulla löydettiin lisätietoa hakutermeillä solumetabolio sekä “ravintoaineiden suhteet urheilussa”.

## 5 NAISURHEILIJAN OIREYHTYMÄ (TRIAD)

Naisurheilijan oireyhtymä oli ensimmäinen alhaiseen energian saatavuuteen liitetty ja diagnostisten kriteerien mukaan määritelty häiriötila. 1990-luvulla havaittiin yhteys naisurheilijoiden kuukautisten puuttumisen, osteoporoosin ja häiriintyneen syömisen välillä. American College of Sports Medicine (ACSM) liitti kyseiset diagnostiset kriteerit uuteen oireyhtymään nimeltä the female athlete triad (Nattiv ym. 1994). Koska diagnoosi vaati kaikkien kolmen oireen esiintymistä, moni alhaisesta energian saatavuudesta ja sen haittavaikutuksista kärsivä naisurheilija jäi ilman tietoa ja ammattiapua. Oireyhtymän määritelmää on päivitetty viimeksi 2007, minkä johdosta diagnoosiin vaaditaan nykyisin vähintään yksi seuraavista oireista: 1) alhainen energian saatavuus liittyen häiriintyneeseen syömiskäyttäytymiseen tai muuhun syyhyn, 2) kuukautiskierron häiriöt sekä 3) pienentynyt luuntiheys (Nattiv ym. 2007).

Parinkymmenen viime vuoden tutkimustyön myötä naisurheilijan oireyhtymä on verrattain laajalti tutkittu, hyvin tunnettu ja tarkasti määritelty tila (Tenforde ym. 2016). Tutkimustiedon perusteella oireyhtymään on voitu määrittää selkeät diagnosointikeinot sekä hoitolinjat (De Souza ym. 2014). Naisurheilijan oireyhtymä -termin luultavasti ainoa heikkous on se, että myös miesurheilijat voivat kärsiä samankaltaisista alhaisen energian saatavuuden aiheuttamista terveyshaitoista (Tenforde ym. 2016). Luonnollisesti oireyhtymää ei voida diagnosoida miehillä johtuen sukupuolihormonien, estrogeeni-, progesteroni- ja testosteronipitoisuuksien, eroista.

ACSM:n vuoden 2007 kannanoton (Nattiv ym.) mukaan alhainen energian saatavuus on avaintekijä oireyhtymän kehittymisessä. Oireet kehittyvät sitä vakavammiksi mitä kauemmin energiansaanti on ollut puutteellista. Alhaisella energian saatavuudella on havaittu olevan haitallisia vaikutuksia lisääntymis-, umpieritysrauhasten, luuston, sydän- ja verenkiertoelimistön, maha-suolikavan, munuaisten ja keskushermoston toimintaan sekä mielenterveyteen (APA, 2000; Becker ym. 1999; Golden ym. 2003; Rome ym. 2003). Naisurheilijan oireyhtymään liittyen tutkimustieto painottuu diagnosikriteereinä käytettyihin terveyshaitoihin.

## 5.1 Kuukautiskierron häiriöt

Naisen normaalin kuukautiskierron pituus on 23-35 vuorokautta, keskimäärin 28 päivää. Tällöin nainen menstruoi säännöllisesti eli on eumenorreettinen. Oligomenorrea tarkoittaa, että kuukautiset tulevat normaalia harvemmin, yli 36 vuorokauden tai useamman kuukauden välein. Termi amenorrea tarkoittaa kuukautisten puuttumista. Sekundaarisessa amenorreassa aiemmin säännölliset kuukautiset ovat puuttuneet yli puolen vuoden ajan tai pitkässä kierrossa kolmet viimeisimmät kuukautiset ovat jääneet tulematta. Primaarisessa amenorreassa nuoren kuukautiset eivät ole alkaneet 16. ikävuoteen mennessä (Tiitinen 2018). Kuukautiskierron häiriöt vaikuttavat heikentävästi hedelmällisyyteen (Mervaala ym. 2019).

Alhaisen energiansaannin seurauksena hypotalamus-aivolisäke-munasarja-akselin toiminta pikkuhiljaa lamaantuu ja naishormoni estrogeenin pitoisuus alenee (De Souza & Williams 2004). Normaalisti ovulaatiotapahtuman munasarjoissa käynnistää lutenisoivan hormonin (LH) erityspiikki aivolisäkkeestä (Tiitinen 2018). Naisurheilijan oireyhtymää sairastavilla LH:n pulssittainen erityys on kuitenkin häiriintynyt, kuten Laughlin & Yen tutkimuksessaan vuonna 1996 havaitsivat. Tähän vaikuttaa hypotalamuksen gonadotropiinien erityksen väheneminen, sillä ne säätelevät aivolisäkkeen sukupuolirauhasia stimuloivia hormonien eli LH:n ja FSH:n tuotantoa. Kyseessä on siis toiminnallinen hypotalaaminen amenorrea (Nattiv ym. 2007). Loucks & Thuma (2003) tutkivat eumenorreettisia naisia ja osoittivat, että alhainen energian saatavuus häiritsi LH:n normaalia eritystä.

Asteittaisen sukupuolihormonitoiminnan hiipumisen vuoksi myös kuukautiset muuttuvat ensin epäsäännöllisiksi, sitten harvenevat ja lopulta jäävät kokonaan tulematta (De Souza & Williams 2004). Alhainen energian saatavuus nuorilla voi myös kokonaan estää kuukautisten alkamisen (Nattiv ym. 2007). Urheilijan epäsäännöllisten tai puuttuvien kuukautisten syy tulisi aina selvittää, sillä kuukautishäiriöt voivat olla ainoa merkki naisurheilijan oireyhtymästä ja energiavajeesta (IOC 2005).



## 5.2 Pienentynyt luuntiheys

Terveen luuston kehittyminen ja ylläpito vaativat riittävästi kalsiumia, D-vitamiinia ja liikuntaa. Lapsuus- ja nuoruusikä ovat merkittävimmät vaiheet luuston vahvistumisen kannalta, sillä luuntiheys ja massa kasvavat noin 20. ikävuoteen asti. Vanhenemiseen liittyvien fysiologisten muutoksien myötä luumassa alkaa pikkuhiljaa vähentyä. Jos luuston kehitys nuoruudessa syystä tai toisesta häiriintyy, seurauksena on osteoporoosin eli luun murtumariskin lisääntyminen varsinkin myöhemmällä iällä (Arikoski ym. 2002).

Alhainen energian saatavuus (alle 30 kcal/kg FFM) sekä estrogeenivaje vaikuttavat luun uudismuodostukseen negatiivisesti vähentämällä luun tiheyttä, lujuutta ja laatua (Ihle & Loucks 2004; De Souza ym. 2014). Ihle & Loucks (2004) altistivat terveitä, fyysisesti aktiivisia naisia alhaiselle energian saatavuudelle ja havaitsivat luuston aineenvaihdunnan muuttuvan katabolisempaan suuntaan. Ackerman ym. (2011) osoittivat, että amenorreettisten urheilijoiden luuston rakenne oli hauraampi kuin eumenorreettisten ja urheilemattomien verrokkien. Amenorreasta kärsivillä urheilijoilla riski luuston haurastumiseen ja murtumiin erityisesti rasiinukseen liittyen ovat suurentuneet (IOC 2005). Rasiinuseen kehittyminen vaatii poikkeavaa kuormitusta, kuten pitkäkestoista, yksipuolista rasiinusta, liian kovaa harjoittelua urheilijan kuntotason nähden, liiallista iskutusta luun uudismuodostuskykyyn suhteutettuna, kuormitus- tai rakennevirhettä (Mervaala ym. 2019).

## 5.3 Syömishäiriöt ja häiriintynyt syömiskäyttäytyminen

Syömishäiriöt ovat kliinisesti diagnosoitavia psyyken sairauksia, joiden yhteisiä ominaispiirteitä ovat itseinho ja syyllisyyden tunteet sekä kehoa vahingoittava syömiskäyttäytyminen, joka hallitsee normaalia elämää. Laihuushäiriötä (anorexia nervosa) sairastava henkilö kokee olevansa liian suurikokoinen, joten hän välttelee syömistä ja liikkuu mahdollisimman paljon laihtuakseen. Anorektikon kehonkuva on vääristynyt ja hän näkee itsensä lihavana, vaikka olisi jo laihtunut ja riutunut. Ahmimishäiriötä (bulimia nervosa) sairastavalla henkilöllä on toistuvia kontrolloimattomia suurien ruokamäärien ahmimiskohtauksia, jonka jälkeen hän joko pyrkii ruoasta eroon esimerkiksi oksentamalla tai paastoaa ylensyöntiä kompensoidakseen. Bulimiaa sairastava on yleensä normaalipainoinen, mutta pelkää lihomista. Syömishäiriöt, jotka eivät täytä laihuus- tai ahmimishäiriön diagnostisia kriteerejä,

luokitellaan epätyypilliseksi syömishäiriöksi (eating disorder not otherwise specified, ED-NOS). Niistä tavallisin on ahmintahäiriö (binge eating disorder, BED), jossa ahmittua ruokaa ei pyritä kompensoimaan, joten sairastunut lihoo (Tarnanen ym. 2015; Nattiv ym. 2007).

Häiriintynyt syömiskäyttäytyminen kattaa kaiken poikkeavan ja epäterveellisen syömiseen liittyvän käyttäytymisen, mitä ei voida luokitella kliiniseksi syömishäiriöksi. (Golden 2002). Siihen kuuluvat muun muassa syömisen tiukka kontrollointi ja rajoittaminen, paastoaminen, ahmiminen, oksentaminen sekä laihdutusvalmisteiden, ulostus- tai nesteentorjaintiläkkeiden käyttö painon pudottamiseksi. Häiriintynyt syömiskäyttäytyminen voi kehittyä varsinaiseksi syömishäiriöksi (Mervaala ym. 2019; Nattiv ym. 2007).

Syömishäiriö tai häiriintynyt syömiskäyttäytyminen voivat olla syynä tai osatekijänä urheilijan alhaiseen energian saatavuuteen. Samanaikaisesti esiintyvien energiavajeen ja häiriintyneen syömiskäyttäytymisen on todettu heikentävän mielenterveyttä ja lisäävän alttiutta masennukseen, ahdistukseen sekä itsetuhoisuuteen (Rome ym. 2003). Laihuushäiriötä sairastavilla on normaaliväestöä suurempi kuolemanriski (Nielsen ym. 1998). Vasta pitkälle edettyään syömishäiriö näkyy sairastuneesta ulospäin esimerkiksi kakektisuutena, laihuutena tai hampaiden kuluneisuutena. Sairastunut pyrkii yleensä salaamaan ja mitätöimään ongelmansa. Hänen läheisensä kuten, perheenjäsenet, ystävät, opettajat tai valmentajat, pystyvät yleensä parhaiten havaitsemaan muutokset syömiskäyttäytymisessä. Mitä aikaisemmin häiriintyneeseen syömiskäyttäytymiseen puututaan, sitä parempi toipumisennuste on (Tarnanen ym. 2015).

## 6 SUHTEELLINEN ENERGIAVAJO URHEILUSSA (RED-S)

Vuonna 2014 Kansainvälisen Olympiakomitean (International Olympic Committee, IOC) asiantuntijaryhmä (Mountjoy ym.) esitti, että naisurheilijan oireyhtymä tulisi korvata termillä suhteellinen energiavaje urheilussa (relative energy deficiency in sport, RED-S). Käsitteen muutosta perusteltiin sillä, että tutkimuksissa myös miesten oli havaittu kärsivän alhaisen energian saatavuuden aiheuttamista haitallisista vaikutuksista terveyteen ja suorituskykyyn. Lisäksi triad-termin sana naisurheilija rajaa ulkopuolelleen tavoitteelliset liikunnan harrastajat sekä ammattitanssijat, jotka voivat myös kärsiä alhaisesta energian saatavuudesta. Mountjoyn ym. mukaan energiavajeesta johtuva oireyhtymä ei ole suppean kolmitahoinen kuten triad esittää, vaan vaikutukset urheilijan fyysiseen ja psyykkiseen terveyteen sekä suorituskykyyn ovat huomattavasti moninaisemmat. (Mountjoy ym. 2014; Mountjoy ym. 2015).

Naisurheilijan oireyhtymää edustava liitto Female Athlete Triad Coalition (FATC) julkaisi vastalauseena lausunnon, jonka mukaan naisurheilijan oireyhtymän määritelmä tulisi säilyttää samana kuin se on tunnettu yli 20 vuoden ajan (De Souza ym. 2014). RED-S:n tutkijoita on kritisoitu puutteellisesta tutkimusnäytöstä ja virhearvioista. Erityisesti tutkimustieto miesten alhaisesta energian saatavuudesta ja sen vaikutuksista on toistaiseksi ollut vähäistä. Lisäksi miehillä alhaista energian saatavuutta on vaikeampi mitata ja todeta, sillä heillä ei ole yhtä selvää oiretta kuin kuukautishäiriöt naisilla. Koska miesten hormonitoiminta eroaa huomattavasti naisista, samansuuruinen energiavaje voi vaikuttaa heihin eri tavalla. Alhaisen energian saatavuuden raja-arvo miehillä voi olla alhaisempi kuin naisten 30 kcal/kg FFM. Vielä on epäselvää, kärsivätkö miehet alhaisesta energian saatavuudesta yhtä usein ja vakavasti kuin naiset. RED-S:n heikkoutena voi olla, että se ei erottele sukupuolia. Vaikka triadin ja RED-S:n kannattajat väittelevät terminologiasta, molemmilla osapuolilla on yhteinen päämäärä urheilijoiden terveyden ja hyvinvoinnin edistämässä (Slater ym. 2017).

Alkuperäisen määritelmän mukaan RED-S on oireyhtymä, jossa kehon fysiologinen toiminta on heikentynyt suhteellisen energiavajeen takia esimerkiksi aineenvaihdunnan, kuukautiskierron, luuston terveyden, immuunipuolustuksen, proteiinisynteesin tai sydän- ja verenkiertoelimistön osalta. Tarkemmin määriteltynä terveyshaitat kohdistuvat RED-S mallin

mukaan kymmeneen eri elimistön toimintoon: hormonitoimintaan, kuukautiskiertoon, luustoon, veriarvoihin, aineenvaihduntaan, kasvuun ja kehitykseen, immuunipuolustukseen, ruoansulatuselimistöön, sydän- ja verenkiertoelimistöön sekä psyykeen (Mountjoy ym. 2014).

## 6.1 Hormonitoiminta

Hormonit ovat elimistön kemiallisia viestiaineita, jotka erittyvät pääsääntöisesti umpieritysrauhasista verenkiertoon ja sitoutuvat niille ominaisiin reseptoriproteiineihin kohdesolussa. Tällöin kohdesolun toiminta jollain tavalla muuttuu (Koistinen & Jänne 2010). Hormonaalisen eli endokriinisen järjestelmän vaikutus ulottuu lähes kaikkiin elimistön toimintoihin kuten aineenvaihduntaan, kasvuun, vuorokausirytmiiin, lisääntymiseen, vesi- ja elektrolyyttitasapainoon sekä käyttäytymiseen.

Naisurheilijan alhainen energian saatavuus on vahvan tutkimusnäytön mukaan yhteydessä kuukautiskierron häiriöihin ja lisääntymiskyvyn heikkenemiseen. Syynä on hypotalamus-aivolisäke-munasarja-akselin lamaantuminen ja naishormoni estrogeenin pitoisuuden lasku (Nattiv ym. 2007). Vastaavasti miehillä alhaisen energian saatavuuden on havaittu olevan yhteydessä testosteronin madaltuneeseen pitoisuuteen. Testosteroni on kivesten tuottama sukupuolihormoni, joka vaikuttaa muun muassa maskuliinisten ominaisuuksien kehittymiseen ja siittiöiden tuotantoon. Key ym. (2018) tutkivat miespuolisia kilpapyöräilijöitä arvioidakseen RED-S:n diagnosointivälineeksi kehitetyn SEAQ-I kyselykaavakkeen toimivuutta. He havaitsivat testosteronitasojen olevan huomattavasti matalampia alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä pyöräilijöillä verrattuna tarpeeksi energiaa kuluttaneisiin pyöräilijöihin. Vastaavasti Heikura ym. (2018) määrittivät alhaisia testosteronipitoisuuksia kestävyysurheilijoilla, joilla energian saatavuus oli niukkaa. Testosteronivajeeseen johtavan tapahtumaketjun on arveltu olevan sama kuin kuukautishäiriöistä kärsivillä triad-naisilla; hypotalamus-aivolisäke-akselin toiminta hiipuu suhteellisen energiavajeen ja elimistön sopeutumismekanismien myötä. Tuolloin sukuhormoneita stimuloivien FSH:n ja LH:n puute johtaa kivesten testosteronituotannon lamaantumiseen (Tenforde ym. 2016).

Heikura ym. (2018) mittasivat alhaisesta energian saatavuudesta kärsiviltä kestävyysurheilijoilta verrokkiryhmiä alhaisempia T3-pitoisuuksia. Vanheest ym. (2014) raportoivat, että kuukautishäiriöistä kärsivien nuorien naisuimarien T3-tasot olivat normaalisti menstruoviin verrokkeihin nähden alhaisempia. Vastaavia tuloksia on saatu useista tutkimuksista (Elliot-Sale ym. 2018). Kilpirauhasesta erittyvät hormonit tyroksiini (T4) ja trijodityroksiini (T3) vaikuttavat kasvuun, lisääntymiskykyyn ja aineenvaihduntaan (Martin ym. 2008). Suurin osa eritetyistä hormoneista on varastomuotona toimivaa tyroksiinia, josta muokkautuu verenkierrossa biologisesti aktiivista T3-hormonia. Kilpirauhasen toimintaa säätelee hypotalamus ja aivolisäkkeen TSH eli tyreotropiini-hormoni. Alhaisesta energian saannista johtuva T3-puutos voidaan luokitella sekundaarisesti hypotyreoosiksi. Se aiheuttaa muun muassa aineenvaihdunnan hidastumista, väsymystä ja ihon kuivumista karkeaksi (Välimäki & Schalin-Jäntti 2010).

Anabolisten eli energiavarastoja rakentavien hormonien osalta alhainen energian saatavuus on liitetty niin naisilla kuin miehilläkin insuliinin ja insuliini kaltainen kasvutekijän (IGF-1) pitoisuuksien laskuun sekä lisääntyneeseen kasvuhormoniresistenssiin (Elliot-Sale ym. 2018). Insuliini on haiman beetasolujen vereen erittämä hormoni, jonka pääasiainen tehtävä on säädellä hiilihydraattiaineenvaihduntaa lisäämällä glukoosin siirtymistä soluihin. Lisäksi insuliini vaikuttaa rasva-aineenvaihduntaan, proteiinisynteesiin, immuunijärjestelmän ja verenkierron toimintaan (Virkamäki & Niskanen 2010). Laughlin & Yen (1996) mittasivat amenorreettisilta naisurheilijoilta alhaisempia insuliinipitoisuuksia kuin verrokeilta. Merkittävän insuliinipitoisuuden laskun energiavajeeseen liittyen havaitsivat myös Koehler ym. (2016) tutkimuksessaan, joka tarkasteli alhaisesta energian saatavuudesta kärsivien miesurheilijoiden hormonitasapainoa. Aivolisäkkeen etulohkon tuottama kasvuhormoni on merkittävässä osassa lihasten ja luuston anaboliassa sekä energia-aineenvaihdunnan säätelyssä. Kasvuhormonin tiettyjä vaikutuksia välittää maksan tuottama IGF-1 (Elliot-Sale ym. 2018). Alhainen energian saatavuus voi olla erittäin haitallista kasvuikäiselle, sillä muun muassa pituuskasvu sekä luuston kehitys voivat jäädä vajaiksi kasvuhormonin vaikutuksen estyttyä. Loucks & Thuma (2003) mittasivat pienentyneitä IGF-1- ja kohonneita kasvuhormonipitoisuuksia naisurheilijoilta, joiden energiansaanti oli rajoitettu 10 tai 20 kcal/kg FFM viiden päivän ajaksi. Roemmich & Sinning (1997) havaitsivat IGF-1 pi-

toisuuksien laskua, kasvuhormonipitoisuuksien nousua sekä osittaista kasvuhormoniresistenssiä miespainijoilla, jotka olivat kilpailukaudella rajoittaneet ruokavaliota ja pudottaneet painoa.

Alhainen energian saatavuus on osassa tutkimuksista yhdistetty kortisolitason nousuun (Elliot-Sale ym. 2018). Tornberg ym. (2017) raportoivat, että amenorreettisten urheilijoiden kortisolitasot olivat korkeammat kuin eumenorreettisten verrokkien. Vastaavia tuloksia korkeammista kortisolitasoista saivat Ackerman ym. (2013) vertaillen amenorreettisia ja eumenorreettisia urheilijoita. Kortisoli on lisämunuaiskuoren erittämä glukokortikoidi eli glukosiaineenvaihduntaan vaikuttava steroidihormoni. Sen vaikutuksesta muun muassa glukoosin tuotanto muista ravintoaineista lisääntyy, solujen glukoosiherkkyys ja proteiinisynteesi vähenevät, immuunipuolustus vaimenee sekä luuston rakentuminen ja pituuskasvu estyvät. Kortisolin erityis on hypotalamus-aivolisäke-akselin säätelemää (Sane 2010). Kortisolin eräs tehtävä voi olla rasvakudoksen kerryttäminen, kun energiaa on runsaasti saatavilla. Toisaalta sen merkitys pitkäkestoisissa liikuntasuorituksissa, nälkiintyneenä tai muuten hiilihydraattivarastojen ehtyessä on merkittävä. Kortisolin tuotanto lisääntyy vasteena fyysiseen tai psyykkiseen stressiin, jolloin välttämätön energiantarve turvataan katabolisilla reaktioilla (Schaal ym. 2011; Sane 2010). Laughlin & Yen (1996) havaitsivat korkeita kortisolipitoisuuksia niin amenorreettisilla kuin eumenorreettisilla urheilijoilla verrattuna urheilemattomiin. Kortisolitason nousu ei siis suoranaisesti viittaa alhaiseen energian saatavuuteen, vaan elimistön tasapainon järkkymiseen esimerkiksi harjoittelun takia (Elliot-Sale ym. 2018).

Ruokahalua säätelevien hormonien osalta alhainen energian saatavuus on liitetty pienentyneisiin leptiinipitoisuuksiin molemmilla sukupuolilla. Lisäksi alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä naisilla on havaittu kohonneita greliini- ja adiponektiinipitoisuuksia ja molemmilla sukupuolilla peptidi YY -pitoisuuden nousua (Elliot-Sale ym. 2018). Leptiini on rasvakudoksen tuottama ruokahalua hillitsevä hormoni, jonka pitoisuuden lasku johtaa energiaa säästäviin muutoksiin aineenvaihdunnassa ja lisääntymiskyvyssä. Adiponektiini on myös rasvakudoksen erittämä ruokahalua hillitsevä hormoni, joka tehostaa rasva-aineenvaihduntaa ja lisää insuliiniherkkyttä (Koistinen & Jänne 2010). Peptidi YY on taas suoliston erittämä ruokahalua hillitsevä hormoni, jota erittyy vasteena nautitulle energialle.

Sen ja adiponektiinin lisääntynyt erityys voivat osaltaan selittää syömishäiriöiden ja riittämättömän energiansaannin yleisyyttä urheilijoilla. Greliini on vatsan erittämä ruokahalua lisäävä hormoni, jonka erityys lisääntyy energiavajeessa (Elliot-Sale ym. 2018). Ackerman ym. (2013) mittasivat alhaisempia leptiinipitoisuuksia ja korkeampia greliinipitoisuuksia amenorreettisilta urheilijoilta verrattuna eumenorreettisiin verrokkeihin. Samansuuntaisia tuloksia raportoivat Russell ym. (2009), joiden mukaan amenorreettisten urheilijoiden greliini- ja peptidi YY -pitoisuudet olivat korkeampia ja leptiinipitoisuudet alhaisempia kuin eumenorreettisten. O'Donnell & De Souza (2011) taas havaitsivat adiponektiinipitoisuuksien olevan korkeampia sekundaarisesta amenorreasta kärsivillä urheilijoilla suhteessa normaalisti menstruoviin verrokkeihin.

Oksitosiini on hypotalamuksen valmistama ja aivolisäkkeen takalohkon vapauttama hormoni, joka käynnistää naisilla kohdun supistelun ja maidontuotannon raskauden yhteydessä (Sane 2010). Lisäksi hermosolujen välittäjäaineena se vaikuttaa muun muassa sosiaaliseen kanssakäymiseen, kiintymyssuhteiden syntyyn, tunnesäätelyyn ja mielialaan (Kortelnuoma & Karlsson 2011). Viime aikoina on saatu viitteitä siitä, että oksitosiini vaikuttaisi muokkaavan syömiskäyttäytymistä. Vaikka matala oksitosiinipitoisuus on joissain tutkimuksissa yhdistynyt amenorreaan ja alhaiseen energiansaantiin, kyseisen hormonin roolia suhteellisessa energiavajeessa ei vielä tunneta (Elliot-Sale ym. 2018).

Alhaiseen energian saantiin liittyvät hormonaaliset muutokset ovat siis monitahoisia ja vaikuttavat koko elimistön tasapainoon eli homeostaasiin. Hormonitoiminnan häiriöt selittävät suuren osan RED-S-oireyhtymän terveysvaikutuksista ja oireista. On kuitenkin hankala erotella, mikä rauhanen tai hormoni reagoi ensimmäisenä energiavajeeseen ja mitkä muutokset ovat vain seurausta ensimmäisestä.

## 6.2 Luusto

Riittävän kalsiumin ja D-vitamiinin saannin sekä liikunnan lisäksi luuston rakentumiseen ja aineenvaihduntaan vaikuttavat monet hormonit. Molemmilla sukupuolilla sekä estrogeeni että testosteroni saavat aikaan luustoa vahvistavia muutoksia ja siten ylläpitävät luun massaa sekä eheyttä (Vanderschueren ym. 2004). Stressihormonien eli kortisolin ja katekoliamiinien (adrenaliini, noradrenaliini, dopamiini) lisääntyminen vaikuttaa sitä vastoin negatiivisesti luukudoksen rakenteeseen (Fuqua & Rogol 2013).

Koska miehilläkin on todettu alhaiseen energian saatavuuteen liittyvää sukupuolihormonipitoisuuksien laskua, heidän luustonsa on vastaavanlaisessa riskissä haurastua kuten triad-oireyhtymästä kärsivien naisten. Miesurheilijoiden alhaisen energian saatavuuden ja luuntiheyden (BMD) yhteyttä on tutkittu tähän mennessä niukasti. Siksi ei tiedetä, onko heillä DXA-mittauksen Z-arvo  $< -1.0$  yhtä vakavasti murtumille altistava kuin naisilla. Tutkimusnäyttö osoittaa, että alhaiseen energian saatavuuteen liittyviä alentunutta luuntiheyttä sekä rasisuurmurtumia esiintyy erityisesti painoherkkiä lajeja edustavilla miesurheilijoilla (Tenforde ym. 2016; Logue ym 2018). Muun muassa Keay ym. (2018) havaitsivat alhaisen energian saatavuuden linkittyvän osatekijöistä voimakkaimmin miespyöräilijöiden alhaiseen Z-arvoon.

## 6.3 Ravitsemus

Energiaravintoaineiden saannin suhde on ihanteellinen, kun päivittäisestä energiasta 55-60% tulee hiilihydraateista, 30% rasvoista ja 10-15% proteiineista (UKK-instituutti 2019). Urheilijoilla optimaalinen suhde vaihtelee esimerkiksi lajin, harjoittelumäärän ja -intensiiviteetin mukaan. Melin ym. (2016) havaitsivat tutkimuksessaan, että alhaisesta energian saatavuudesta kärsivien naisurheilijoiden hiilihydraattien ja rasvojen saanti oli suositeltua vähäisempää ja kuidun saanti runsaampaa kuin riittävästi energiaa nauttineilla. Proteiinin saanti alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä urheilijoilla on yleensä riittävää (Logue ym. 2018). Hiilihydraattien vähäinen nauttiminen voi johtaa urheilijalla heikentyneeseen suoritus- ja palautumiskykyyn, mielialan ja vireystilan laskuun, lihasten neste- ja energia-  
varastojen niukkuuteen sekä suurentuneeseen loukkaantumis- ja sairastumisriskiin. Liian



vähärasvainen ruokavalio voi puolestaan olla haitaksi rasva-aineenvaihdunnalle, hormoni-toiminnalle ja suorituskyvylle (UKK-instituutti 2019).

Suojaravintoaineiden saantia on tutkittu vasta vähän alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä urheilijoilla. Heillä on havaittu muun muassa folaatin, kalsiumin ja eri vitamiinien puutosta (Logue ym. 2018). Raudan puutetta on sen sijaan tutkittu huomattavasti laajemmin. Muun muassa Ackerman ym. (2018) raportoivat raudan puutteen olevan yleisempää alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä urheilijoilla kuin verrokeilla. Puutostilaan voi olla syynä hemolyysi eli punasolujen hajoaminen juostessa tai muussa vastaavassa iskutuksessa, raudan vähentynyt saanti ravinnosta joko (kasvis)ruokavalion tai huonon imeytymisen vuoksi sekä raudan lisääntynyt menetys muun muassa runsaiden kuukautisten takia. Naisurheilijat ovat täten altteimpia puutostilan kehittymiselle (DellaValle 2013). Rautaa tarvitaan ensisijaisesti punasolujen rakenneosasen hemoglobiinin tuotantoon mutta myös muidenkin kehon solujen toimintaan. Puutostila voi oireilla muun muassa väsymyksenä, päänsärkynä ja heikentyneenä rasituksen sietona (Salonen 2019). Rautavarastojen ehtyminen johtaa lopulta anemiaan, jolloin solujen hapen saannista vastaavan hemoglobiinin pitoisuus on alentunut ja solujen aerobinen toiminta heikentynyt. Lihassolujen osalta tämä tarkoittaa urheilijan heikompaa suorituskykyä (DellaValle 2013). Solujen metabolisen tehon heikentyessä energiankulutus kasvaa niin levossa kuin harjoitellessa, joten raudan puute mahdollisesti altistaa energiavajeelle (Petkus ym. 2017). Koska raudan puute ei aina johda anemiaan, urheilijoilta tulisi hemoglobiiniarvon lisäksi tutkia veren ferritiiniarvo, joka kertoo elimistön rautavarastojen tilanteesta (DellaValle 2013).

#### **6.4 Immuunitoiminta**

Alhainen energian saatavuus voi vaikuttaa heikentävästi elimistön puolustuskykyyn taudinaiheuttajia vastaan (Mountjoy ym. 2018). Painoluokkalajeissa tehtyjen rajujen painonpudotusten on todettu vaikuttavan urheilijoiden immunitettiin vaientamalla syljen IgA-vastainetuotantoa (Logue ym. 2018). Shimizu ym. (2012) tutkivat japanilaisia naisjuoksijoita ja havaitsivat IgA-tuotannon olevan alhaisempi amenorreettisilla kuin eumenorreettisilla urheilijoilla. Lisäksi amenorreettiset urheilijat kärsivät verrokkeja useammin ylähengitystieoireista kuten päänsärystä, yskästä, kuumeesta ja vuotavasta nenästä (Shimizu ym. 2012).

Drew ym. (2018) selvittivät Olympialaisiin valmistautuvien urheilijoiden sairastumisalttiutta sekä taustatekijöitä. Alhainen energian saatavuus oli merkittävin sairastumiseen yhdistynyt tekijä (Drew ym. 2018).

Niin ikään hiilihydraattien ja proteiinien alhainen saanti sekä suojaravintoaineiden puutokset voivat altistaa tautitartunnoille, tavallisimmin ylähengitystieinfektioille. Sairastumiselle altistavia riskitekijöitä on siis lukuisia ja ne vaikuttavat yleensä samanaikaisesti. Ravinnon alhaisen energiamäärän ja heikon laadun lisäksi urheilijan immuunitoimintaa koettelevat fyysinen ja psyykinen kuormitus esimerkiksi kovan harjoittelujakson aikana, unen puute sekä ympäristön mikrobikuormitus (Gleeson 2016; Logue ym. 2018).

## **6.5 Aineenvaihdunta ja kasvu**

Alhaisen energian saatavuuden on todettu vähentävän lepoenergiakulutusta niin miehillä kuin naisilla (Elliot-Sale ym. 2018; Mountjoy ym. 2018). Lepoenergiakulutuksella (resting metabolic rate, RMR) tarkoitetaan sitä vähimmäisenergiamäärää, jota tarvitaan elimistön perustoimintoihin. Keskushermoston säätelemänä se on yhteydessä ruokahaluun ja energiansaantiin. RMR on siten vastaavanlainen energia-aineenvaihdunnan tilaa kuvaava mittari kuin energian saatavuus (Schofield ym. 2019). Thompson ym. (1993) osoittivat, että alhaisesta energiansaannista kärsivien miesjuoksijoiden RMR oli 8% pienempi kuin tarpeeksi energiaa kuluttaneiden juoksijoiden. Woods ym. (2007) tutkivat mies- ja nais-soutajia, joiden harjoituskuormitusta kasvatettiin neljän viikon ajaksi energiansaantia lisäämättä. Neljän viikon aikana soutajien RMR oli pienentynyt merkittävästi, minkä Woods ym. olettivat johtuvan energiavajeesta (Woods ym. 2017). Koska lepoenergiakulutuksen tarkka mittaaminen on aikaa vievää ja kallista, molemmille sukupuolille on määritelty kehon rasvattomasta rasvasta riippuvat oletetut RMR-arvot energiavajeen tunnistamisen työkaluiksi. Nykyiset oletusarvot eivät kuitenkaan ota huomioon urheilijoiden yksilöllisiä eroja aineenvaihdunnassa, joten niitä tulisi kehittää luotettavammiksi (Schofield ym. 2019).

Nuorilla alhaisen energian saatavuuden vaikutusta kasvuun on tutkittu lähinnä syömishäiriöihin liittyen. Anoreksiaa sairastavilla tytöillä ja pojilla on todettu kasvun hidastumista kuten myös kasvua tukevan hormonitoiminnan hiipumista (Mountjoy ym. 2018). Lantzouni ym. (2002) tutkivat anorektisten tyttöjen pituuskasvua ja totesivat, että ravitsemuskuntoutuksesta huolimatta tytöt eivät saavuttaneet geneettisesti arvioitua pituuttaan (Lantzouni ym. 2002). Misran ym. (2003) mukaan anorektisten tyttöjen insuliinin kaltaisen kasvutekijän 1 (IGF-1) pitoisuudet olivat laskeneet energiavajeen seurauksena. IGF-1 välittää kasvu-hormonin tiettyjä vaikutuksia. Negatiivisen takaisinkytkennän takia aivolisäke tuottaa normaalia enemmän kasvuhormonia, jonka vaikutus kohdekudoksiin on tehotonta ilman IGF-1-kasvutekijää ja ne kehittävät kasvuhormoniresistenssin. Tämä vaikuttaa negatiivisesti varsinkin luuston uudismuodostukseen ja kasvuun (Misra ym. 2003).

## 6.6 Sydän- ja verenkiertoelimistö

Säännöllinen kestävyysliikunta vaikuttaa suotuisasti sydän- ja verenkiertoelimistön toimintaan. Muun muassa leposyke ja verenpaine laskevat, sydämen iskutilavuus suurenee sekä veren rasva-arvot ja rasituksen sieto paranevat (Alapappila 2018; Kiilavuori 2014). Sen sijaan urheilijan alhaisesta energian saannista johtuva toiminnallinen hypotalaaminen amenorrea voi kumota liikunnan aikaansaamat terveysvaikutukset, mikä liittyy sydän- ja verisuonten terveyttä monitahoisesti ylläpitävän estrogeenin pitoisuuden laskuun (O'Donnell & De Souza 2004).

Zeni Hoch ym. (2003) osoittivat, että amenorreettisten urheilijoiden olkavarsivaltimon endoteelin laajenemiskyky oli heikentynyt verrattuna menstruoviin urheilijoihin. Rickenlund ym. (2005) havaitsivat, että amenorreasta kärsivien naisurheilijoiden verisuonten endoteelin eli suonon sisäpinnan solujen toiminta oli heikompi ja veren rasva-arvot olivat huonommat kuin eumenorreettisilla verrokeilla. Kyseiset muutokset lisäävät riskiä sydän- ja verisuonitautien varhaiselle kehittymiselle (Rickenlund ym. 2005). Ilmiöön on liittynyt suonien toiminta- ja laajenemiskykyyn vaikuttavan typpioksidin väheneminen sekä rasvojen lisääntynyt hapettuminen verenkierrossa (O'Donnell & De Souza 2004). Veren rasvat koostuvat energia-aineenvaihdunnassa käytettävistä triglyseirideistä sekä solujen rakennusaineeksi ja hormonitoimintaan tarvittavasta kolesterolista. Niitä kuljettavat veressä lipoprotei-

nit LDL sisälle kudoksiin ja HDL kudoksista pois. LDL siirtää kolesterolia suonen seinämään, joten suurina määrinä se on haitallista aiheuttaen valtimoiden tukkeutumista (Eskelinen 2016; Mustajoki 2018). LDL-pitoisuuden on todettu nousseen merkittävästi amenorreasta kärsivillä naisurheilijoilla (O'Donnell & De Souza 2004).

## **6.7 Ruoansulatuselimistö**

Melin ym. (2014) raportoivat LEAF-Q-oirekyselyn pätevyyttä kartoittaneesta tutkimuksesta, että maha-suolikanavan häiriöt kuten turvotus, vatsakipu, ripuli ja ummetus, olivat yleisempiä alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä urheilijoilla kuin verrokeilla. Ackerman ym. (2018) osoittivat, että suhteellisessa energiavajeessa elävät naisurheilijat kärsivät enemmän maha-suolikanavan oireista kuin riittävästi energiaa saaneet verrokit. Ruoansulatuselimistön oireet ovat usein yhteydessä häiriintyneeseen syömiskäyttäytymiseen tai syömishäiriöön. Oireilua voivat muun muassa aiheuttaa epäsäännöllinen ruokailurytmi tai runsas kuidun saanti (Nattiv ym 2007; Melin ym. 2014).

## **6.8 Psygyke**

Mielenterveyden häiriöllä tarkoitetaan tilaa, jossa henkilön mieliala, ajatukset, tunteet tai käytös haittaavat arjen toimintakykyä tai sosiaalisia suhteita. Häiriöt perustuvat psygykelle raskaisiin tunnetiloihin kuten pelkoon, ahdistukseen, vihaan, suruun, häpeään ja avuttomuuteen. Samoja tunteita kokee myös mieleltään terve ihminen, mutta hän kykenee reagoimaan kohtaamiinsa ongelmiin rakentavasti ja säilyttämään toimintakykynsä. Pitkäkestoinen, elämää rajoittava oireilu merkitsee psygyken häiriötä tai sairautta (Huttunen 2017).

Urheilijan psygyken ongelmat voivat olla joko alhaisen energian saatavuuden syynä tai energiavajeen seurausta (Mountjoy ym. 2014). De Souza ym. (2007) havaitsivat laihooden tavoittelun olevan energiavajeesta kärsivillä naisurheilijoilla normaalia suuremmassa merkityksessä. Näiden urheilijoiden toimintaa ovat luonnehtineet tehottomuus, kognitiivinen itsehillintä sekä bulimiam sairastavalle ominaiset taipumukset (De Souza ym. 2007).

Bomba ym. (2007) tutkivat funktionaalisesta hypotalaamisesta amenorreasta kärsivien nuorten naisten hormonitoimintaa sekä neuropsygykologiaa. He totesivat amenorreettisten

naisten olevan stressiherkempiä, masennukselle alttiimpia ja kärsivän enemmän psykosomaattisista eli selittämättömistä fyysisistä oireista kuin normaalin kuukautiskierron omaavat nuoret. Amenorreettisten nuorten syömiskäyttäytymiselle oli ominaista syömisen liiallinen rajoittaminen muun muassa lihomisen pelon vuoksi (Bomba ym. 2007). Miesurheilijoilla alhainen energian saatavuus on yhdistynyt psyykkisiin oireisiin sekä mielialahäiriöihin, kuten masennuksen hermostuneisuuden ja ärtyneisyyden tunteisiin (Fagerberg 2018). Rossow ym. (2013) tutkivat kehonrakennuskilpailuihin valmistautuvia miehiä vuoden ajan ja havaitsivat miesten mielialahäiriöiden lisääntyneen huomattavasti kilpailuja edeltävästi.

## **6.9 Vaikutukset suorituskykyyn ja harjoitteluun**

Alhainen energian saatavuus voi vaikuttaa urheilijan suorituskykyyn negatiivisesti. Mountjoy ym. (2014) laatiman mallin mukaan RED-S-oireyhtymä voi pienentää lihasten liikunnan aikaisina energianlähteinä toimivia glykogeenivarastoja, heikentää kestävyys- ja voimaominaisuuksia sekä koordinaatiokykyä ja huonontaa harjoitusvastetta. Lisäksi se voi lietsoa ärtyneisyyden ja masennuksen tunteita, heikentää keskittymis- ja arviointikykyä sekä lisätä loukkaantumisriskiä (Mountjoy ym. 2014). Ackerman ym. (2018) tutkivat kyseisten haittavaikutusten esiintyvyyttä naisurheilijoilla pois lukien heikentynyt voimataso sekä pienentyneet glykogeenivarastot, sillä niitä ei katsottu sopivaksi määrittää kyselylomakkeella. Suurentunutta loukkaantumisriskiä lukuun ottamatta suorituskyvyn muutokset (heikentynyt kestävyyskunto sekä koordinaatiokyky, huonontunut harjoitusvaste, lisääntynyt ärtyneisyys ja masentuneisuus, heikentynyt keskittymis- ja arviointikyky) olivat yleisempiä alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä kuin riittävästi energiaa saaneilla urheilijoilla.

Urheilijoiden lihasaineenvaihduntaa selvittäneet Tarnopolsky ym. (2001) totesivat, että sukupuolen sijaan glykogeenivarastojen latautumiseen näyttäisi vaikuttavan energian saatavuus; naisurheilijoilla sekä energiansaanti että glykogeenin varastoituminen olivat vähäisempiä kuin miehillä. Tornberg ym. (2017) havaitsivat lihasvoiman ja -kestävyyden olevan heikompia sekä reaktioaikojen pidempiä amenorreasta kärsivillä naisilla kuin eumenorreettisilla verrokeilla. Mies- ja naissoutajille tehdyssä tutkimuksessa Woods ym. (2017) päätte-

livät, että alhainen energian saatavuus oli ainakin osasyynä soutajien heikentyneeseen palautumiskykyyn kovalla harjoittelujaksolla. Miesten kehonrakennusta käsitelleessä review-artikkelissa todettiin, että alhainen energian saatavuus vähentää niin lihasten voimaa kuin massaa sekä lisää mielialaoireita, kuten masennusta ja ärtyisyyttä sekä heikentää keskittymiskykyä (Fagerberg 2018). Alhainen energian saatavuus lisää rasisuurmurtumien riskiä urheilijoilla, joilla luun mineraalitiheys on alentunut (Tenforde ym. 2016; Nattiv ym. 2007). Drew ym. (2018) raportoivat, että alhainen energian saatavuus oli vahvasti yhteydessä sairaspäiviin Olympialaisiin valmistautuvilla urheilijoilla. RED-S-oireyhtymään liitetyille suorituskyvyn muutoksille löytyy täten tieteellistä näyttöä.

Urheilijoiden häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä käsitelleissä tutkimuksissa on havaittu, että energiavajeen pitkittyessä urheilijoiden lihasten glykogeenivarastot ovat ehtyneet, maitohappopitoisuudet rasituksessa kohonneet, sekä voima- ja kestävyysominaisuudet heikenneet. Energiavajeessa urheilijan painon lasku johtuukin pääsääntöisesti rasvattoman kehonpainon eli lihasmassan menetyksestä. Lisäksi häiriintynyt syömiskäyttäytyminen on lisännyt nestehukan, elektrolyyttihäiriöiden, lihaskipujen ja -kramppien riskiä. Kaikesta huolimatta jotkut yhä uskovat, että energiarajoitus ja siitä johtuva kohtalainen painon lasku parantaisivat urheilijan suorituskykyä (El Ghoch ym. 2013).

Alhaisen energian saatavuuden vaikutusta urheilijan lajinomaiseen suorituskykyyn on tutkittu vasta niukalti. Vanheest ym. (2014) havaitsivat, että 12 viikon kilpailujakson jälkeen alhaisesta energian saatavuudesta ja amenorreasta kärsivien naisuimarien 400 metrin uintinopeus oli laskenut 9,8%, kun taas eumenorreettisilla verrokeilla uintinopeus oli kasvanut 8,2%. Keay ym. (2018) tutkivat alhaisesta energian saatavuudesta kärsivien miespyöräilijöiden suorituskykyä 60min FTP (functional threshold power) -testillä. Se kertoo korkeimman keskitehon, jota pyöräilijä voi pitää yllätunnin ajan ja on suoraan verrannollinen suorituskykyyn pyöräilykilpailuissa. Alhaisesta energian saatavuudesta kärsivillä pyöräilijöillä FTP-tulos oli huomattavasti alhaisempi kuin saman verran harjoitelleilla verrokeilla.

## 7 ALHAISEN ENERGIAN SAATAVUUDEN DIAGNOSOINTI

Alkuvaiheessa alhaisesta energian saatavuudesta kärsivää urheilijaa on yleensä hankalaa tunnistaa, sillä hän voi olla täysin terveen oloinen tai oireet voivat olla lieviä ja moniselitteisiä. Silti pienikin epäily urheilijan energiavajeesta tulisi johtaa jatkotutkimuksiin (Merivaala ym. 2019; Mountjoy ym. 2014). Erityisiin riskiryhmiin kuuluvat urheilijat, jotka edustavat painoherkkiä lajeja, ovat loukkaantuneet ja joilla on häiriintyneestä syömiskäyttäytymisestä/syömishäiriöstä kärsivä joukkueoveri (Arthur-Cameselle ym. 2017). Mikäli tilanteeseen pystytään puuttumaan ajoissa, urheilija todennäköisesti välttyy vakavammilta terveyshaitoilta. Yleensä valmentaja on parhaimmalla tarkkailupaikalla havaitsemaan urheilijan häiriintyneen syömiskäyttäytymisen (Mountjoy ym. 2018). Myös terveydenhuollon ammattilaisten kuten urheilulääkärin, ravitsemusterapeutin ja psykologin tulisi pystyä tunnistamaan energiavajeesta kärsivä urheilija. Alhaista energian saatavuutta tulisi seuloa urheilijoiden vuosittaisissa lääkärintarkastuksissa sekä häiriintyneen syömiskäyttäytymisen, laihtumisen, kasvun hidastumisen, kuukautishäiriöiden, toistuvien loukkaantumisten tai sairastelun, heikentyneen suorituskyvyn sekä mielialamuutosten yhteydessä (Mountjoy ym. 2014).

Kliininen haastattelu ja tutkimus ovat energiavajeen selvittelyissä avainasemassa (Merivaala ym. 2019). Naisurheilijan oireyhtymän tunnistamisen avuksi on kehitetty useita oirekyselyjä kuten Low Energy Availability in Females -Questionnaire (LEAF-Q), mutta miehille suunnattu oirekysely on vasta kehitteillä (Melin ym. 2014; Mountjoy ym. 2018). Haastattelussa tulisi kartoittaa perustiedot ruokavaliosta, harjoittelusta ja kehonkuvasta kuten loukkaantumishistoria, onko urheilijalla ollut stressiä painosta tai paineita laihduttaa sekä kontrolloiko hän syömisiään. Naisurheilijalta kysytään kuukautisten alkamisesta ja säännöllisyydestä. Lisäksi statustutkimuksessa tulisi määrittää urheilijan paino ja BMI, verenpaine ja etsiä mahdollisia merkkejä syömishäiriöstä kuten sylkirauhasten turvotus tai utukarvoitus (De Souza ym. 2014).

Alhaisen energiansaannin arviointi on useimmiten hankalaa. Urheilija voi tarkoituksella tai tahattomasti ali- tai yliarvioida syömisiään ja aktiivisuuttaan, joten ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen perusteella laskettu energian saatavuus voi poiketa paljonkin todellisuudesta. Lisäksi päiväkirjamerkinnot vastaavat harvoin pitkän aikavälin ravitsemustilannetta (Burke

ym. 2018). Energiansaannin ja -kulutuksen arviointia voi kokeilla, mutta todennäköisesti fyysiset oireet, laboratorionkokeet tai seulontakysely antavat paremman kokonaiskuvan urheilijan terveydentilasta (Heikura ym. 2018).

Kuukautiskierron häiriöistä kärsivillä naisurheilijoilla poissuljetaan raskaus, rakenteelliset ja muut hormoniperäiset syyt (IOC 2015). Jos mitään poikkeavaa ei löydy, kuukautishäiriöiden voidaan katsoa johtuvan alhaisesta energian saatavuudesta. Molemmilla sukupuolilla rasitusmurtumat, alipaino tai syömishäiriö tai naisilla yli vuoden kestäneet kuukautishäiriöt viittaavat pitkittyneeseen energiavajeeseen, jolloin luusto voi olla haurastunut. Tuolloin luuntiheys eli BMD on syytä määrittää DXA-mittauksella eli kaksiennergiaisella absorptiometriamenetelmällä, joka antaa tuloksen Z-arvona. Alhaisen luuntiheyden kansainväliseksi raja-arvoksi on lisääntymisikäisillä naisilla ja lapsilla määritelty Z-arvo  $\leq -2$ . Koska monipuolisen ja säännöllisen liikunnan pitäisi vaikuttaa positiivisesti luuston terveyteen, urheilijoilla Z-arvo  $< -1.0$  on jo huolestuttavan alhainen (Nattiv ym. 2007). Mervaaan ym. (2019) mukaan luuntiheyden mittausta ei kuitenkaan tule suorittaa rutiininomaisesti, sillä luuston heikentyminen vie aikaa eikä sitä havaita vielä lievässä ja lyhytkestoisessa oireytymässä.

Laboratoriokokeilla voidaan määrittää alhaiseen energian saatavuuteen linkittyneiden hormoni- ynnä muiden molekyyli- ja pitoisuuksien muutoksia, esimerkiksi kilpirauhashormoni- ja leptiinitasojen laskua (Logue ym. 2018; Warren 2011). Näiden niin sanottujen biomarkkerien tutkimus on kuitenkin vasta alkutekijöissään ja näyttö energiavajeen tunnistamisen suhteen heikko. Biomarkkerien kehitystyö vaatii tulevaisuudessa lisätutkimuksia (Logue ym. 2018).



## 8 POHDINTA

Alhaisen energian saatavuuden on havaittu vaikuttavan urheilijoilla monen eri elinjärjestelmän toimintaan. Se voi muun muassa lamata sukupuolihormonien ja kilpirauhashormonin tuotantoa hypotalamus-aivolisäke-akselin kautta ja estää insuliinin, insuliinin kaltaisen kasvutekijän ja kasvuhormonin vaikutuksia. Hormonitoiminnan muutosten myötä luusto voi alkaa heikentyä, kun luun uudismuodostusta stimuloivien hormonien pitoisuus laskee ja luukudosta hajoaa enemmän kuin rakentuu. Alhainen energian saatavuus voi altistaa raudan puutteelle, suolisto-oireille, rasva-aineenvaihdunnan häiriöille ja valtimonkovettumataudille, heikentää vastustuskykyä sekä hidastaa kasvuikäisen kehitystä. Psykyen ongelmat, erityisesti syömishäiriöt ja häiriintynyt syömiskäyttäytyminen, ovat vahvasti yhteydessä alhaiseen energian saatavuuteen. Ne voivat olla joko laukaiseva tekijä tai seuraamus energianpuutteelle. Lisäksi alhainen energian saatavuus voi vaikuttaa suorituskykyyn muun muassa lisäämällä loukkaantumisriskiä sekä tunteiden negatiivisuutta, heikentämällä voima- ja kestävyysominaisuuksia sekä huonontamalla harjoitusvastetta ja keskittymiskykyä.

Kuten moni aikaisempi tutkimus on osoittanut, alhainen energian saatavuus jää usein huomaamatta. Syynä voi olla tietämättömyys aiheesta tai urheilijan oireettomuus. Kysymys kuuluu, miten epäillä alhaista energian saatavuutta, kun esimerkiksi lievässä tai lyhytaikaisessa energiavajeessa merkkejä siitä ei esiinny. Energian saatavuuden laskeminen on ilman laboratorio-olosuhteita lähes mahdotonta, ja energiansaannin ja -kulutuksen arviointiin sisältyy paljon virhelähteitä (Burke ym. 2018). Yksilöllisten erojen takia riittävän ja liian alhaisen energian saatavuuden raja-arvoissa on poikkeamia. Kuten kirjallisuuden tarkastelu osoitti, suhteellinen energiavaje voi aiheuttaa muutoksia elimistön hormoni- ynnä muissa molekyyli- pitoisuuksissa, mutta täsmällistä energian saatavuuden biomarkkeria ei ole vielä pystytty osoittamaan. Tulevaisuuden haasteena on parantaa alhaisen energian saatavuuden tunnistettavuutta ja kehittää diagnosointityökalu, jolla havaita energiavaje ennen haitallisia terveydentilan muutoksia.

Toistaiseksi ei pystytä arvioimaan, kuinka paljon alhainen energian saatavuus heikentää urheilijan terveyttä tai suorituskykyä. Terveystilaan vaikuttavat myös monet sekoittavat

tekijät kuten stressi, harjoittelu, uni ja ruokavalion koostumus, jotka voivat horjuttaa elimistön tasapainoa sekä altistaa terveyshaitoille. Energian saatavuutta ei voida eristää näistä terveyden osatekijöistä, vaan urheilijaa tulisi tarkastella kokonaisuutena. Säännölliset terveystarkastukset ovat yksi keino urheilijoiden terveydentilan kartoittamiseksi. Mitä aikaisemmin ongelmat havaitaan, sitä helpompi niihin on puuttua ja antaa hoitoa. Tämä edellyttää kuitenkin lääkäriltä huolellista anamneesia, täsmällistä statustutkimusta sekä riittäviä laboratoriotutkimuksia. Koska alhaisen energian saatavuuden taustalla on yleensä häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä, myös valmentajan, urheilupsykologin ynnä muun urheilijan tukitiimin panos energiavajeen tunnistamisessa ja hoidossa osoittautuvat useimmiten merkittäväksi.

## LÄHTEET

Ackerman, K.E., Holtzman, B., Cooper, K.M., Flynn, E.F., Bruinvels, G., Tenforde, A.S., Popp, K., Simpkin, A., Parziale, A. 2018. Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *British Journal of Sports Medicine*. Painossa.

Ackerman, K.E., Patel, K.T., Guereca, G., Pierce, L., Herzog, D.B., Misra, M. 2013. Cortisol secretory parameters in young exercisers in relation to LH secretion and bone parameters. *Clinical Endocrinology* 78, 114-119.

Ackerman, K.E., Nazem, T., Chapko, D., Russell, M., Mendes, N., Taylor, A.P., Bouxsein, M.L., Misra, M. 2011. Bone microarchitecture is impaired in adolescent amenorrheic athletes compared with eumenorrheic athletes and nonathletic controls. *The Journal of Endocrinology & Metabolism* 96, 3123-3133.

Ackland T., Lohman T., Sundgot-Borgen J., Maughan R., Meyer, N., Stewart A., 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 I.O.C. Medical Commission. *Sports Medicine* 42, 227–249.

Alapappila A. Liikunnan vaikutuksia sydämen terveyteen. Sydänliitto (päivitetty 30.8.2018). [www.sydan.fi](http://www.sydan.fi)

American Psychiatric Association (APA) Work Group on Eating Disorders. 2000. Practice guideline for the treatment of patients with eating disorders (revision). *American Journal of Psychiatry* 157, 1–39.

Arikoski, P., Kröger, L., Kröger, H., ja Nicholas J Bishop N. J. 2002. Luuston terveys lapsuus- ja nuoruusiässä. *Duodecim* 118, 1251-1258

Arthur-Cameselle, J.N., Sossin, K., Quatromoni, P.A. 2017. A qualitative analysis of factors related to eating disorder onset in female collegiate athletes and non-athletes. *Eating Disorders* 25, 199-215.

Becker, A. E., Grinspoon, S. K., Klibanski, A., Herzog, D. B. 1999. Eating disorders. *The New England Journal of Medicine* 340, 1092–1098

- Bomba, M., Gambera, A., Bonini, L., Peroni, M., Neri, F., Scagliola, P., & Nacinovich, R. 2007. Endocrine profiles and neuropsychologic correlates of functional hypothalamic amenorrhea in adolescents. *Fertility and Sterility*, 87, 876–885.
- Burke, L. Lundy, B., Fahrenholtz, I., Melin A. 2018. Pitfalls of Conducting and Interpreting Estimates of Energy Availability in Free-Living Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28, 350-363.
- De Souza, M.J., Hontscharuk, R., Olmsted, M.P., Kerr, G., & Williams, N.I. 2007. Drive for thinness score is a proxy indicator of energy deficiency in exercising women. *Appetite* 48, 359–367.
- De Souza MJ, Williams NI. 2004. Physiological aspects and clinical sequelae of energy deficiency and hypoestrogenism in exercising women. *Human Reproduction Update* 10, 433–448
- De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, Gibbs JC, Olmsted M, Goolsby M, Matheson G. 2014. Female Athlete Triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st international conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *British Journal of Sports Medicine* 48, 289
- DellaValle, D. 2013. Iron supplementation for female athletes: effects on iron status and performance outcomes. *Current Sports Medicine Reports* 12, 234-239.
- Drew, M.K., Vlahovich, N., Hughes, D., Appaneal, R., Burke, L.M., Lundy, B., Rogers, M., Toomey, M., Watts, D., Lovell, G., Praet, S., Halson, S.L., Colbey, C., Manzanero, S., Welvaert, M., West, N.P., Pyne, D.B., Waddington, G. 2018. Prevalence of illness, poor mental health and sleep quality and low energy availability prior to the 2016 summer olympic games. *British Journal of Sports Medicine* 52, 47–53.
- El Ghoch, M., Soave, F., Calugi, S., & Dalle Grave, R. 2013. Eating disorders, physical fitness and sport performance: A systematic review. *Nutrients* 5, 5140–5160.
- Elliot-Sale, K., Tenforde, A., Parziale A., Holtzman, B., Ackerman, K. 2018. Endocrine Effects of Relative Energy Deficiency in Sport. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28, 335-349.

Eskelinen, S. Veren rasvojen kuljetus. Laboratoriotutkimusten tulkinta (päivitetty 4.5.2016). <https://www.terveyskirjasto.fi>

Fagerberg, P. 2018. Negative Consequences of Low Energy Availability in Natural Male Bodybuilding: A Review. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28, 385-402.

Fuqua, J.S., Rogol, A.D. 2013. Neuroendocrine alterations in the exercising human: implications for energy homeostasis. *Metabolism* 62, 911-921.

Gibbs J. C., Williams NI, Scheid J. L., Toombs, R. J., De Souza, M. J. 2011 The association of a high drive for thinness with energy deficiency and severe menstrual disturbances: confirmation in a large population of exercising women. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2, 280–90

Gibbs, J. C., Williams, N. I. & De Souza, M. J. 2013. Prevalence of individual and combined components of the female athlete triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 45, 985–996

Gleeson, M. 2016. Immunological aspects of sport nutrition. *Immunology and Cell Biology* 94, 117–123.

Golden, N. H. 2002. A review of the female athlete triad (amenorrhea, osteoporosis and disordered eating). *International Journal of Adolescent Medicine and Health* 14 (1), 9–18.

Golden, N. H., Katzman, D. K., Kreipe, R. E., Stevens, S. L., Sawyer, S. M., Rees, J., Nicholls, D., Rome, E. S. 2003. Eating disorders in adolescents: position paper of the Society for Adolescent Medicine. *Journal of Adolescent Health* 33, 496-503.

Heikura, I. A., Uusitalo, A. L., 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, 403-411.

Huttunen, M.O. Mielenterveyden häiriöt. Lääkkeet mielen hoidossa. Kustannus Osa Duodecim (päivitetty 24.9.2017). [www.terveyskirjasto.fi](http://www.terveyskirjasto.fi)

- Ihle, R., Loucks, A. B. 2004 Dose-response relationship between energy availability and bone turnover in young exercising women. *Journal of Bone and Mineral Research* 19, 1231-1240.
- International Olympic Committee. 2005. IOC Medical Commission Working Group Women in Sport: position stand on the female athlete triad. [https://stillmed.olympic.org/Documents/Reports/EN/en\\_report\\_917.pdf](https://stillmed.olympic.org/Documents/Reports/EN/en_report_917.pdf)
- Keay, N., Francis, G., Hind, K. 2018. Low energy availability assessed by a sport-specific questionnaire and clinical interview indicative of bone health, endocrine profile and cycling performance in competitive male cyclists. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 4:e000424. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000424
- Kiilavuori K. Liikunnan vaikutukset sydän- ja verenkiertojärjestelmään. Kustannus Oy Duodecim (päivitetty 16.6.014). [www.terveysportti.fi](http://www.terveysportti.fi)
- Koehler, K., Joerner, N.R., Gibbs, J.C., Zinner, C., Braun, H., De Souza, M.J., Scgaenzer, 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, 1921-1929.
- Koistinen H. & Jänne, O. Endokriininen Järjestelmä. Teoksessa M. Välimäki, T. Sane & L. Dunkel (toim.) *Endokrinologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 (päivitetty 1.4.2010). [www.oppiportti.fi](http://www.oppiportti.fi)
- Kortesluoma S, Karlsson H. 2011. Oksitosiini - kiintymyksen ja sosiaalisuuden neuropeptidi. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 127, 911-918.
- Lantzouni, E., Frank, G.R., Golden, N.H., Shenker, R.I. 2002. Reversibility of growth stunting in early onset anorexia nervosa: a prospective study. *Journal of Adolescent Health* 31, 162-165.
- Laughlin, G. A. & Yen, S. S. C. 1996. Nutritional and endocrinometabolic aberrations in amenorrheic athletes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 81, 4301-4309.
- Logue, D., Madigan, S., Delahunt, E., Heinen, M., Mc Donnell, S., Corish, C. A. 2018. Low Energy Availability in Athletes: A Review of Prevalence, Dietary Patterns, Physiological Health, and Sports Performance. *Sport Medicine* 48, 73-96

- Loucks, A. B. 2004. Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences* 22, 1–14
- Loucks, A. B. 2007. Low energy availability in the marathon and other endurance sports. *Sports Medicine* 37, 348–352
- Loucks, A. B., Kiens, B. & Wright, H. H. 2011. Energy availability in athletes. *Journal of Sports Sciences* 29, 7–15
- Loucks, A. B., Thuma JR. 2003. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 88, 297-311.
- Manore, M. M., Kam, L. C. & Loucks, A. B. 2007. The female athlete triad: Components, nutrition issues, and health consequences. *Journal of Sports Sciences* 25, S61–S71.
- Martin, B., Golden, E., Carlson, O.D., Egan, J.M., Mattson, M. P., Maudsley, S. 2008. Caloric restriction: Impact upon pituitary function and reproduction. *Ageing Research Reviews* 7, 209-224.
- Martins, C., Morgan, L. M., Bloom, S. R. & Robertson, M. D. 2007. Effects of exercise on gut peptides, energy intake and appetite. *Journal of Endocrinology* 193, 251–258.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Faber, J., Ritz, C., Sjödín, A. & Sundgot-Borgen, J. 2014. The LEAF questionnaire: a screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *British Journal of Sports Medicine* 48, 540–545.
- Melin, A., Tornberg, Å.B., Skouby, S., Møller, S.S., Faber, J., Sundgot-Borgen, J., Sjödín, A. 2016. Low-energy density and high fiber intake are dietary concerns in female endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 26, 1060-1071.
- Melin, A., Tornberg, Å.B, Skouby, S., Møller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., Sidellmann, J.J., Aziz, M., Sjödín, A.M. 2015. Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 25, 610–622.
- Mervaala, A., Laukka P., Keski-Rahkonen, A. 2019. Naisurheilijan oireyhtymä: liikaa urheilua ja liian vähän ruokaa. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 13, 61-68.

Misra, M., Miller, K.K., Bjornson, J., Hackman, A., Aggarwal, A., Chung, J., Ott, M., Herzog, D.B., Johnson, M.L., Klibanski, A. 2003. Alterations in growth hormone secretory dynamics in adolescent girls with anorexia nervosa and effects on bone metabolism. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 88, 5615–5623.

Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Meyer, N., Sherman, R., Steffen, K. & Budgett, R. 2014. The IOC consensus statement: Beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine* 48, 491–497.

Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Meyer, N., Sherman, R., Steffen, K. & Budgett, R. 2015. Authors' 2015 additions to the IOC consensus statement: Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine* 49, 417–420.

Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J.K., Burke, L.M., Ackerman, K.E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A.K., Meyer, N.L., Sherman, R.T., Tenforde, A.S., Klungland Torstveit, M., Budgett, R. 2018. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *British Journal of Sports Medicine* 52, 687–697.

Mustajoki, P. Kolesteroli. Lääkärikirja Duodecim (päivitetty 2.2.2018). <https://www.terveyskirjasto.fi>

Nattiv A., Agostini R., Drinkwater B., Yeager K. 1994. The female athlete triad. The inter-relatedness of disordered eating, amenorrhea, and osteoporosis. *Clinical Journal of Sports Medicine* 13, 405–418.

Nattiv, A., Loucks, A., Manore, M., Sanborn, C., Sundgot-Borgen, J. & Warren, M. 2007. American College of Sports Medicine position stand. The Female Athlete Triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39, 1867–1882.

Nielsen, S., Moller-Madsen S., Isager, T., Jorgensen, J., Pagsberg, K., Theander, S. 1998. Standardized mortality in eating disorders—a quantitative summary of previously published and new evidence. *The Journal Psychosomatic Research* 44, 413–434.

O'Donnell, E., De Souza, M.J. 2004. The cardiovascular effects of chronic hypoestrogenism in amenorrhoeic athletes. *Sports Medicine* 34, 601–627.



O'Donell, E., De Souza, M.J. 2011. Increased serum adiponectin concentrations in amenorrheic physically active women are associated with impaired bone health but not with estrogen exposure. *Bone* 48, 760-767.

Petkus, D.L., Murray-Kolb, L.E., De Souza M.J. 2017. The Unexplored Crossroads of the Female Athlete Triad and Iron Deficiency: A Narrative Review. *Sports Medicine* 47, 1721-1737.

Ravintoaineet. UKK-instituutti. Terve koululainen (viitattu 7.4.2019). <https://www.terve-koululainen.fi/ylakoulu/ravinto/ravintoaineet/>

Rickenlund, A., Eriksson, M.J., Schenck-Gustafsson, K., Hirschberg A.L. 2005. Amenorrhea in female athletes is associated with endothelial dysfunction and unfavorable lipid profile. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 90, 1354–1359.

Roemmich, J.N., Sinning, W.E. 1997. Weight loss and wrestling training: effects on growth-related hormones. *Journal of Applied Physiology* 82, 1760-1764.

Rome, E.S., Ammerman, S., Rosen, D.S., Keller, R.J., Lock, J., Mammel, K.A., O'Toole, J., Rees, J.M., Sanders, M.J., Sawyer, S.M., Schneider, M., Sigel, E., Silber, T.J. 2003. Children and adolescents with eating disorders: the state of the art. *Pediatrics* 111, 98-108.

Rossow, L.M., Fukuda, D.H., Fahs, C.A., Loenneke, J.P., Stout, J.R. 2013. Natural bodybuilding competition preparation and recovery: a 12-month case study. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8, 582-592.

Russell, M., Stark, J., Nayak, S., Miller, K.K., Herzog, D.B., Klibanski, A., Misra, M. 2009. Peptide YY in adolescent athletes with amenorrhea, eumenorrheic athletes and non-athletic controls. *Bone* 45, 104-109.

Salonen, J. Raudanpuuteanemia. *Lääkärikirja Duodecim* (päivitetty 6.3.2019). [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_teos=&p\\_artikkeli=dlk00867](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_teos=&p_artikkeli=dlk00867)

Sane, T. Aivolisäkkeen takalohko ja vesiaineenvaihdunta. Teoksessa M. Välimäki, T. Sane & L. Dunkel (toim.) *Endokrinologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 (päivitetty 1.4.2010). [www.oppiportti.fi](http://www.oppiportti.fi)

Sane, T. Lisämunaaiset. Teoksessa M. Välimäki, T. Sane & L. Dunkel (toim.) *Endokrinologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 (päivitetty 1.4.2010). [www.oppiportti.fi](http://www.oppiportti.fi)

- Schaal, K., Van Loan, M.D., Casazza, G.A. 2011. Reduced catecholamine response to exercise in amenorrheic athletes. *Medicine & Science in Sports and Exercise* 43, 2063-2071.
- Schofield, K.L., Thorpe, H., Sims, S.T. 2019. Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental Physiology* 104, 469–475.
- Shimizu, K., Suzuki, N., Nakamura, M., Aizawa, K., Imai, T., Suzuki, S., Eda, N., Hanaoka, Y., Nakao, K., Suzuki, N., Mesaki, N., Kono, I., Akama, T. 2012. Mucosal immune function comparison between amenorrheic and eumenorrheic distance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26, 1402-1406.
- Slater, J., Brown, R., McLay-Cooke, R., Black, K. 2017. Low Energy Availability in Exercising Women: Historical Perspectives and Future Directions. *Sports Medicine* 47, 207-220.
- Solun aineenvaihdunta. Solunetti (viitattu 14.2.2019). [www.solunetti.fi/fi/solubiologia/solun\\_aineenvaihdunta/](http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/solun_aineenvaihdunta/)
- Sundgot-Borgen J. 1994. Risk and trigger factors for the development of eating disorders in female elite athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 26, 414–419.
- Sundgot-Borgen, J. & Torstveit, M. K. 2004. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clinical Journal of Sport Medicine* 14, 25–32.
- Sundgot-Borgen J. & Torstveit M.K. 2010. Aspects of disordered eating continuum in elite high-intensity sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 20, 112–21.
- Tenforde, A., Barrack, M., Nattiv, A., Fredericson, M. 2016. Parallels with the Female Athlete Triad in Male Athletes. *Sports Medicine* 46, 171-182.
- Tarnanen, K., Suokas, J., Vuorela P. Syömishäiriöt. Käyvän hoidon potilasversiot (päivitetty 29.1.2015). [www.terveyskirjasto.fi](http://www.terveyskirjasto.fi)
- Tarnopolsky, M.A., Zawada, C., Richmond, L.B., Carter, S., Shearer, J., Graham, T., & Phillips, S.M. 2001. Gender differences in carbohydrate loading are related to energy intake. *Journal of Applied Physiology* 91, 225–230.

- Thompson, J., Manore, M.M., Skinner, J.S. 1993. Resting metabolic rate and thermic effect of a meal in low- and adequate-energy intake male endurance athletes. *International Journal of Sport Nutrition* 3, 194-206.
- Tiitinen Aila. Kuukautisten puuttuminen. Lääkärikirja Duodecim (päivitetty 1.10.2018). [www.terveyskirjasto.fi](http://www.terveyskirjasto.fi)
- Tiitinen Aila. Normaali kuukautiskierto. Lääkärikirja Duodecim (päivitetty 1.10.2018). [www.terveyskirjasto.fi](http://www.terveyskirjasto.fi)
- Tornberg, Å.B., Melin, A., Koivula, F.M., Johansson, A., Skouby, S., Faber, J., & Sjödén, A. 2017. Reduced neuromuscular performance in amenorrheic elite endurance athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 49, 2478–2485.
- Torstveit, M.K., Rosenvinge, J.H., Sundgot-Borgen, J. 2008. Prevalence of eating disorders and the predictive power of risk models in female elite athletes: a controlled study. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 18, 108-118.
- Vanderschueren, D., Vandendriessche, L., Boonen, S., Lindberg, M.K., Bouillon, R., Ohlsson, C. 2004. Androgens and bone. *Endocrine Reviews* 25, 389-425.
- Vanheest J.L., Rodgers C.D., Mahoney C.E., De Souza M.J. 2014. Ovarian suppression impairs sport performance in junior elite female swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46, 156-166.
- Warren, M.P. 2011. Endocrine manifestations of eating disorders. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 96, 333-343.
- Virkamäki, A., Niskanen, L. Teoksessa M. Välimäki, T. Sane & L. Dunkel (toim.) *Endokrinologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 (päivitetty 1.4.2010). [www.oppiportti.fi](http://www.oppiportti.fi)
- Woods, A.L., Garvican-Lewis, L.A., Lundy, B., Rice, A.J., & Thompson, K.G. 2017. New approaches to determine fatigue in elite athletes during intensified training: Resting metabolic rate and pacing profile. *PLoS One* 12, 1–17.

Välimäki, M. & Schalin-Jääntti, C. Kilpirauhanen. Teoksessa M. Välimäki, T. Sane & L. Dunkel (toim.) Endokrinologia. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim 2019 (päivitetty 1.4.2010). [www.oppiportti.fi](http://www.oppiportti.fi)

Zeni Hoch, A., Dempsey, R.L., Carrera, G.F., Wilson, C.R., Chen, E.H., Barnabei, V.M., Sandford, P.R., Ryan, T.A., Gutterman, D.D. 2003. Is there an association between athletic amenorrhea and endothelial cell dysfunction? *Medicine & Science in Sports & Exercise* 35, 377-383.