

**RAUDANPUUTE NAISURHEILJOILLA JA SEN YHTEYS MATALAAN
ENERGIANSAAVUUTEEN JA KUUKAUTISSTATUKSEEN**

Lotta Närhinen

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

TIIVISTELMÄ

Närhinen, L. 2023. Raudanpuute naisurheilijoilla ja sen yhteys matalaan energiansaataavuuteen ja kuukautisstatukseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 60 s.

Johdanto. Naisurheilijat ovat suuremmassa riskissä raudanpuutteelle valtaväestöön verrattuna. Suurempaan riskiin vaikuttaa riittämätön raudansaanti ruokavaliosta, harjoittelu ja kuukautiset. Raudanpuute kehittyy hitaasti alkaen ensin rautavarastojen alenemisella päätyen raudanpuuteanemiaan. Raudanpuute voi heikentää suorituskykyä sekä aiheuttaa väsymystä ja fysiologisia toimintahäiriöitä. Riittämättömän energiansaataavuuden ja kuukautisstatuksen on tutkimuksissa esitetty vaikuttavan myös rautastatukseen. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää raudanpuutteen yleisyyttä naisurheilijoilla ja lajien välisiä eroja sekä selittääkö energiansaataavuus ja kuukautisstatus raudanpuutetta.

Menetelmät. Tutkielman aineisto on kerätty poikkileikkausasetelmana kolmesta eri tutkimuksesta vuosien 2019–2022 aikana. Tutkielmaan valikoitui 247 vähintään kansallisen tason naisurheilijaa. Rautastatuksen arvioinnissa käytettiin ferritiiniä ja hemoglobiinia, jotka analysoitiin paastoverinäytteistä. Energiansaataavuuden arvioinnissa käytettiin lepoenergiankulutusta sekä ruoka- ja aktiivisuuspäiväkirjoja, joita tutkittavat täyttivät neljän päivän ajan. Kuukautisstatus määritettiin matalan energiansaataavuuden riskiä arvioivan LEAF-Q-kyselyn avulla. Raudanpuutteen yleisyyttä tarkasteltiin koko joukkona sekä lajien mukaan jaetuissa ryhmissä. Energiansaataavuutta ja kuukautisstatusta raudanpuutteen selittävinä tekijöinä tarkasteltiin kuukautisstatuksen sekä lajien mukaan jaetuissa ryhmissä.

Tulokset. Naisurheilijoista 4,3 prosentilla oli alhainen hemoglobiini (<120 g/l) sekä 15,8 prosentilla alhainen ferritiini (<15 µg/l). Palloilijoilla havaittiin eniten raudanpuutetta, mutta tulos ei eronnut merkitsevästi muista lajiryhmistä. Energiansaataavuus ei ollut yhteydessä hemoglobiiniin eikä ferritiiniin, eikä kuukautisstatuksen mukaan jaetuissa ryhmissä löytynyt eroja rautastatukseen suhteen.

Johtopäätökset. Tämän tutkimuksen perusteella alhainen hemoglobiini ei ollut yleistä naisurheilijoilla, mutta tyhjentyneet rautavarastot havaittiin noin 15 prosentilla urheilijoista. Tyhjentyneet rautavarastot kuitenkin jo kertovat raudanpuutteesta, joten olisikin hyvä jo tässä vaiheessa puuttua urheilijoiden raudansaantiin sekä raudanpuutteen muihin riskitekijöihin, jotta raudanpuute ei kehittyisi raudanpuuteanemiaksi. Tämän tutkimuksen perusteella kestävyysurheilijat eivät olleet suuremmassa raudanpuutteen riskissä, eivätkä eri lajien urheilijat eronneet raudanpuutteen suhteen toisistaan. Palloilijaryhmä erottautui kuitenkin joukosta raudanpuutteen yleisyydessä. Kuukautisstatus ja energiansaataavuus eivät selittäneet tässä tutkimuksessa naisurheilijoiden rautastatusta, mikä ei ollut linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa.

Asiasanat: raudanpuute, rautastatus, energiansaataavuus, matala energiansaataavuus, kuukautisstatus, hemoglobiini, ferritiini, naisurheilija

ABSTRACT

Närhinen, L. 2023. Iron deficiency in female athletes: low energy availability and the effect of menstrual function on iron status. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Exercise Physiology, Master's thesis, 60 pp.

Introduction. Female athletes have a higher risk for iron deficiency compared to the general population. A higher risk is influenced by inadequate iron intake through the diet as well as exercise and menstruation. Iron deficiency develops slowly, starting first with a decrease in iron stores and ending in iron deficiency anemia. Iron deficiency can impair performance and cause fatigue and physiological dysfunction. Insufficient energy availability and menstrual status have been shown in studies to affect iron status as well. The purpose of this thesis was to investigate the prevalence of iron deficiency in female athletes, to evaluate differences between sports, and to determine if energy availability and menstrual status explain iron deficiency.

Methods. The data for this thesis was collected from three different studies during 2019–2022 into a cross-sectional study. A total of 247 female athletes of at least national level were included. Iron status was determined by ferritin concentration and hemoglobin from blood samples. Food and activity diaries were collected from four days to assess energy availability with resting metabolic rate. Menstrual status was determined using the LEAF-Q questionnaire, which is used to evaluate the risk of low energy availability. The prevalence of iron deficiency was assessed in the total group and in groups divided by sport. Energy availability and menstrual status as explanatory factors of iron deficiency were examined in groups divided by menstrual status and sport.

Results. A total of 4.3 percent of female athletes had low hemoglobin (<120 g/l) and 15.8 percent had a low ferritin (<15 µg/l). Athletes from ball sports had the highest prevalence of iron deficiency, but the result did not differ significantly from other sport groups. Energy availability was not related to hemoglobin or ferritin concentrations, and no differences in iron status were found in the groups divided by menstrual status.

Conclusions. Based on this study, iron deficiency anemia was not common in female athletes, but depleted iron stores were found in approximately 15 percent of athletes. However, as depleted iron stores already predict iron deficiency, it is important to intervene to prevent iron deficiency anemia. From this study, it appears that endurance athletes are not at a greater risk of iron deficiency than other athletes as no differences between athletes of different sports were observed in terms of iron deficiency. Menstrual status and energy availability did not explain iron status of female athletes in this study, which is not consistent with previous studies.

Key words: iron deficiency, iron status, energy availability, low energy availability, menstrual status, hemoglobin, ferritin, female athlete

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	body mass index, kehon massaindeksi
DXA	dual-energy X-ray absorptiometry, kaksienergisen röntgensäteen absorptiometria
EA	energy availability, energiansaatavuus
EB	energy balance, energiatasapaino
EEE	energy expended in exercise, harjoitukseen käytetty energia
EI	energy input, ruuasta saatu energia
FFM	fat free mass, rasvaton massa
Hb	hemoglobiini
ID	iron deficiency, raudanpuute
IGF-1	insulin-like growth factor-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä 1
IL-6	interleukin-6, interleukiini 6
LEA	low energy availability, matala energiansaatavuus
LEAF-Q	low energy availability questionnaire, kysely, jota käytetään alhaisen energiansaatavuuden seulonnassa
LH	luteinizing hormone, luteinisoiva hormoni
RED-S	relative energy deficiency, suhteellinen energiavaje
REE	resting energy expenditure, lepoenergiankulutus
TIBC	total iron binding capacity, raudan sitoutumiskapasiteetti
T4	tyroksiini, kilpirauhashormoni
T3	trijodityroniini, kilpirauhashormoni
WHO	World Health Organisation, Maailman terveysjärjestö

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO.....	1
2 RAUTASTATUS.....	3
2.1 Raudanpuute	4
2.2 Raudanpuutteen mittaaminen.....	6
2.2.1 Ferritiini	6
2.2.2 Hemoglobiini.....	7
2.2.3 Hepsidiini	7
2.3 Raudanpuute naisurheilijoilla	8
2.4 Raudansaanti ruokavaliosta	12
2.5 Rautavarastot sekä raudan kierto kehossa	14
3 ENERGIANSAAATAVUUS.....	17
3.1 Matala energiansaatavuus	17
3.2 Energiankulutuksen ja -saannin mittaaminen	20
3.3 Matalan energiansaatavuuden yleisyys naisurheilijoilla	21
3.4 Matalalle energiansaatavuudelle altistavat tekijät naisurheilijoilla.....	22
3.5 Kuukautisstatus ja energiansaatavuus	24
3.6 Matalan energiansaatavuuden vaikutus rautastatukseen	25
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	27
5 TUTKIMUSMENETELMÄT	29
5.1 Tutkimusaineisto ja -asetelma.....	29
5.2 Tutkittavat.....	29
5.3 Tutkimusmuuttujat ja aineistonkeruu	30
5.4 Tilastolliset menetelmät.....	34
6 TULOKSET.....	35

6.1 Raudanpuutteen yleisyys	35
6.2 Energiansaataavuus ja kuukautiskierron muuttujat	37
6.3 Energiansaataavuuden ja kuukautisstatuksen yhteydet rautastatukseen	39
7 POHDINTA.....	42
7.1 Raudanpuutteen yleisyys ja lajien väliset erot.....	42
7.2 Energiansaataavuus, kehonkoostumus ja kuukautisstatus.....	44
7.3 Raudanpuutteen selittäviä tekijöitä	47
7.4 Tutkimuksen rajoitukset	48
7.5 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset.....	49
LÄHTEET	51

1 JOHDANTO

Naisurheilijoilla raudanpuutteen riski ja esiintyvyys ovat korkeampia verrattuna muuhun väestöön (Beard & Tobin 2000). Suurempaan riskiin voivat vaikuttaa riittämätön raudansaanti ruokavaliosta, harjoittelu ja kuukautisvuoto (McClung 2012). Raudanpuute voi heikentää urheilijan suorituskykyä sekä aiheuttaa väsymystä ja fysiologisia toimintahäiriöitä (Beard & Tobin 2000), minkä takia olisikin tärkeää puuttua jo ajoissa naisurheilijoilla ilmenneisiin raudanpuutostiloihin. Tähän auttaisi erityisessä riskissä olevien naisurheilijoiden rautastatuksen seuranta, jolloin ajoissa tilanteeseen puuttuminen olisi mahdollista. Urheilijoiden kehon raudan tilaa voidaan seurata veren hemoglobiini- sekä ferritiinikonsentraation avulla. Molemmat voidaan analysoida paastoverinäytteistä melko nopeasti ja edullisesti, hemoglobiini perusverenkuvasta ja ferritiini immunoanalyysillä (Garcia-Casal ym. 2018; Pfeiffer & Looker 2017). Molempiin menetelmiin kuuluu kuitenkin myös heikkouksia, kuten tulehduksen vaikutus ferritiiniin (Pfeiffer & Looker 2017).

Rautastatus kuvastaa kehon raudan tilaa. Se pitää sisällään varastoraudan (ferritiiniin sitoutunut rauta) sekä funktionaalisen raudan määrän (hemoglobiini, myoglobiini) (Pfeiffer & Looker 2017). Rauta on välttämätön hivenaine, jota tarvitaan mm. hapenkuljetuksessa, punasolujen tuotossa, aerobisessa aineenvaihdunnassa ja solun immuunivasteissa (Cook ym. 1992; Muñoz ym. 2009). Raudanpuute kehittyy hitaasti alkaen ensin rautavarastojen tyhjenemisellä ja päätyen toiminnallisen raudan vähenemiseen. Rautavarastojen tyhjeneminen näkyy veren ferritiinikonsentraation laskuna. Toiminnallisen raudan määrän väheneminen taas voidaan havaita veren hemoglobiinikonsentraation laskuna. (Garcia-Casal ym. 2018.)

Raudanpuutteen riskiä suurentaa riittämätön raudansaanti ruokavaliosta sekä sen heikentynyt imeytyminen raudan muodon mukaan, raudanmenetykset kuukautisten takia, ruuansulatuselimistön verenvuoto ja heikentynyt raudan imeytyminen harjoittelun takia lisääntyneiden tulehdustekijöiden sekä rautatasapainoa säätelevän hormonin hepsidiinin takia (McClung 2012). Näitä riskitekijöitä urheilevilla naisilla saattaa esiintyä useampikin, mistä syystä etenkin kestävyyslajien naisurheilijoilla on suurentunut riski raudanpuutteeseen (Alanunyte 2015).

Riittämättömän energiansaatavuuden ja energiansaatavuutta ilmentävän kuukautisstatuksen on tutkimuksissa esitetty vaikuttavan myös rautastatukseen. Kuukautisstatus ilmentää pitkäaikaisen energiansaatavuuden tilaa ja sen on todettu olevan myös yhteydessä rautastatukseen. (McClung 2012; Petkus ym. 2019). Kuukautisstatusta kuvaavat eumenorrea, oligomenorrea ja

amenorrea, joista eumenorrea tarkoittaa normaalia kuukautiskiertoa (24–38 vrk, Terveyskirjasto 2022) ja oligomenorrea ja amenorrea taas kuukautiskierron häiriöitä. Oligomenorrealla tarkoitetaan pidentynyttä kuukautiskiertoa ja amenorreassa kuukautiset ovat jääneet kokonaan pois. (Mountjoy ym. 2014.) Myös kuukautisten runsauden ja keston sekä raudanpuutteen riskin välillä on havaittu yhteys. (Milman ym. 1998; McClung 2012; Petkus ym. 2019). Matalan energiansaataavuuden ja raudanpuutteen välillä on myös havaittu yhteys, ja ne saattavat toimia riskitekijöinä toisillensa. Matalalla energiansaataavuudella ja raudanpuutteella on samoja riskitekijöitä, jotka myös saattavat vaikuttaa yhteyden havaitsemiseen molempien tilojen välillä. Matalaa energiansaataavuutta voisikin käyttää apuna raudanpuutteen riskin arvioimisessa, ja mahdollisesti raudanpuutetta voisi käyttää myös apuna matalan energiansaataavuuden havaitsemisessa. Sekä raudanpuute että matala energiansaataavuus ovat yleisiä mutta urheilijan suorituskykyyn vaikuttavia tiloja, joihin olisi tärkeää puuttua ja joita olisi hyvin tärkeä ennaltaehkäistä. Naisurheilijoiden raudanpuutetta ja energiansaataavuutta ja niiden yhteyksiä on alettu tutkimaan viime aikoina enemmän ja etenkin matalan energiansaataavuuden ja sen fysiologisten vaikutusten tutkimus on selvästi kasvanut muutaman viime vuoden aikana (Logue ym. 2020). Yhteyden suuntaa tulisi vielä tutkia tarkemmin.

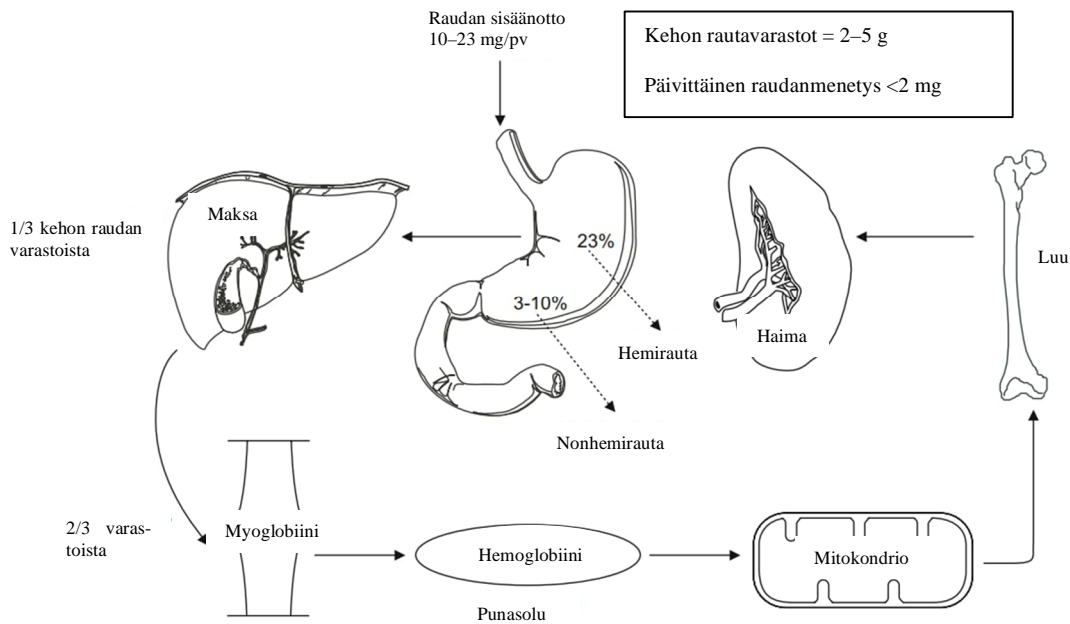
Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää raudanpuutteen yleisyyttä naisurheilijoilla sekä lajien välisiä eroja, ja selittääkö energiansaataavuus ja kuukautisstatus raudanpuutetta.

2 RAUTASTATUS

Rauta on välttämätön hivenaine, jolla on tärkeä rooli hapenkuljetuksessa (Cook ym. 1992) sekä kognitiivisen ja fyysisen toimintakyvyn ylläpitämisessä (McClung 2012). Rautaa tarvitaan myös punasolujen tuottoon, aerobiseen aineenvaihduntaan sekä solun immuunivasteisiin (Muñoz ym. 2009).

Kehon rauta voidaan jakaa toimintansa perusteella varastorautaan, kuljetettavaan rautaan sekä toiminnalliseen rautaan. Varastorauta sijaitsee luuytimessä ja maksassa, ja pieni osa siitä löytyy verenkierrosta sitoutuneena ferritiiniin. Kuljetettava rauta kiertää verenkierrossa sitoutuneena transferriniin, joka vie rautaa tarvittaville kudoksille punasolujen tuottoa varten. Toiminnallinen rauta kuvaa rautaa, joka on kudoksien käytettävissä, eli lähinnä happea kuljettavaa rautaa, joka on sitoutuneena hemoglobiiniin. (Pfeiffer & Looker 2017.)

Koko kehon absoluuttinen raudanmäärä on noin 2–5 g (Chatard ym. 1999). Rauta itsessään on kehossa myrkyllistä, joten se ei voi olla sellaisenaan kehossa, vaan sen pitää olla sitoutuneena johonkin (Elsayed ym. 2016). Kuvassa 1 on esitetty kehon rautavarastot. Suurin osa kehon raudan määrästä, noin kaksi kolmasosaa, on sitoutuneena toiminnalliseen rautaan eli hemoglobiiniin, myoglobiiniin ja sytokromeihin (Chatard ym. 1999). Pääasiassa rauta on sitoutuneena punasolujen hemoglobiiniin, mutta pieni osa toiminnallisesta raudasta on sitoutuneena myös lihassolujen happivarastona toimivaan myoglobiiniin sekä solujen energiantuotannossa toimiviin sytokromeihin, jotka toimivat solujen energiantuotannossa (McArdle 2015, 64). Loput 1/3 kehon raudan määrästä on sitoutunut varastorautayhdisteisiin kuten hemosideriiniin ja ferritiiniin, joita on maksassa, pernassa ja luuytimessä (Chatard ym. 1999). Varastoraudan tehtävänä on turvata sopiva raudansaanti, kun ruokavaliosta ei saada tarpeeksi rautaa, jotta rautaa riittäisi hemoglobiinin, myoglobiinin ja sytokromien tarpeisiin. Lisäksi rautaa on sitoutuneena myös transferriniin, joka on rautaa kuljettava glykoproteiini. Transferrinin tehtävänä on kuljettaa suolistosta imeytynyt rauta sitä tarvitseville kudoksille kuten maksaan, pernaan, luuytimeen sekä lihaksille. Transferrinin määrä veressä kuvaa sen hetkistä raudan sisäänoton riittävyyttä. (McArdle 2015, 64.)



KUVA 1. Kehon rautavarastot (mukailtu, Chatard ym. 1999).

2.1 Raudanpuute

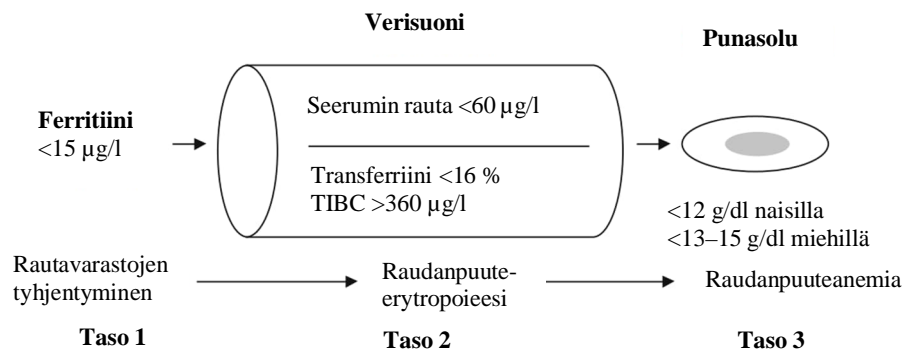
Tässä työssä raudanpuutteella viitataan raudanpuutteeseen ilman anemiaa (Ebeling ym. 2019; Camaschella 2019) joka voidaan määrittää ferritiinin avulla (Garcia-Casal ym. 2018). Anemiassa tarkoitetaan alhaista hemoglobiinia eli normaalia alhaisempaa hemoglobiiniarvoa (<120 g/l, WHO 2011) (Terveyskirjasto 2022). Anemian yleisin syy on raudanpuute (Terveyskirjasto 2022) ja raudanpuuteanemia tässä työssä käsitetäänkin raudanpuutteesta johtuvaksi anemiaksi, joka määritellään tyhjentyneiden rautavarastojen sekä alentuneen hemoglobiinikonsentraation avulla (Chatard ym. 1999).

Raudanpuutteessa kehon rautavarastot eivät ole riittävät vastaamaan kehon raudan tarvetta. Tällöin punasolujen tuotto vähenee, mikä saattaa johtaa lopulta raudanpuuteanemiaan. Raudanpuute alkaa rautavarastojen tyhjenemisellä, jonka seurauksena verenkierrossa kiertävän raudan määrä vähenee ja lopulta aiheuttaa toiminnallisen raudan määrän vähenemisen aiheuttaen raudanpuuteanemian. (Garcia-Casal ym. 2018.) Varastoraudan, kuljetettava raudan ja toiminnallisen raudan määrät kuvaavat raudanpuutteen eri tasoja. (Pfeiffer & Looker 2017).

On olemassa monta eri tapaa jaotella sekä nimetä eri raudanpuutteen tasot. Yleistetysti raudanpuute voidaan jakaa ei-aneemiseen sekä aneemiseen raudanpuutteeseen. Ei-aneeminen raudanpuute kertoo tyhjentyneistä rautavarastoista sekä raudan kuljetuksen vähentyneestä määrästä. Aneemisessa raudanpuutteessa raudanpuute vaikuttaa hemoglobiinin tuottoon vähentäen sitä,

mikä aiheuttaa anemiaa. (Alaunyte ym. 2015). Termejä näille raudanpuutoksen eri tasoille löytyy monta eri nimitystä englannin kielellä, ja kaikille ei löydy suomenkielistä vastinetta.

Raudanpuuteanemia kehittyy yleensä hitaasti (Camaschella 2015). Raudanpuutteen ensimmäisellä tasolla tyhjenevät rautavarastot luuytimessä ja maksassa, mikä näkyy veressä alentuneina ferritiinitasoina (kuva 2). Toisella tasolla kuljetettavan raudan määrä soluille vähenee, mikä vähentää punasolujen tuottoa. Tämä ilmenee matalana veren seerumin raudan määränä, raudan sitoutumiskapasiteetin kasvuna sekä alentuneena transferrinisaturaationa. (Chatard ym. 1999.) Raudanpuutteen kahta ensimmäistä tasoa kutsutaan englanniksi termillä ”pre-anaemic latent iron deficiency” tai iron-deficient non-anaemia” (Alaunyte ym. 2015). Suomessa tilasta käytetään nimitystä ei-aneeminen raudanpuute tai raudanpuute ilman anemiaa (Ebeling ym. 2019). Raudanpuutteen kolmannessa vaiheessa (iron deficient anaemia) hemoglobiinin tuotto laskee riittämättömän raudansaannin takia aiheuttaen raudanpuuteanemiaa. Raudanpuuteanemia määritellään tyhjentyneiden rautavarastojen sekä alentuneen hemoglobiinikonsentraation avulla. (Chatard ym. 1999.)



KUVA 2. Raudanpuutteen tasot (mukailtu, Chatard ym. 1999). TIBC=total iron binding capacity, raudan sitoutumiskapasiteetti.

Raudanpuute voi heikentää urheilijan suorituskykyä ja vastustuskykyä sekä saattaa aiheuttaa muitakin fysiologisia toimintahäiriöitä kuten aineenvaihdunnallisia muutoksia esimerkiksi mitokondrioissa tai proteiinisynteesissä (Beard & Tobin 2000). Raudanpuutteen mahdollinen vaikutus aineenvaihdunnan heikentymiseen johtuu kilpirauhashormonien, kuten tyroksiinin (T4) ja trijodityroniinin (T3), tuoton vähenemisestä, lihasten hajotuksen lisääntymisestä sekä rasvojen hapetuksen heikentymisestä. Lisäksi raudanpuute saattaa vaikuttaa negatiivisesti luuston terveyteen sekä lisääntymiskykyyn. (Petkus ym. 2017). Hemoglobiinipitoisuus taas on positiivisesti yhteydessä maksimaaliseen hapenottoon, joka on merkittävässä roolissa urheilijan

suorituskyvyn määräytymisessä, etenkin kestävyyslajeissa. Tyhjentyneet rautavarastot laskevat hemoglobiinipitoisuutta, mikä voi johtaa heikentyneeseen aerobiseen suorituskykyyn. (Toivo ym. 2020.) Raudanpuute voi myös aiheuttaa väsymystä ja alentaa työtehoa (Garcia-Casal ym. 2018).

2.2 Raudanpuutteen mittaaminen

Raudanpuutteen diagnosoinnissa kultaisena standardina on pidetty luuytimen biopsioita kehon raudan määrän määrittämisessä. Luuytimen biopsioiden ottaminen on kuitenkin invasiivinen ja kallis menetelmä, jonka tekeminen on hyvin rajoitettua. Tästä syystä onkin pitänyt kehittää edullisempia ja yksinkertaisempia tapoja mitata kehon raudan määrää. (Garcia-Casal ym. 2018.) Kehon rautavarastojen suuruutta kuvaavat luuydinrauta ja ferritiini, joista ferritiini heijastaa luuytimen raudan määrää. Toiminnallisen raudan määrää kuvaavat hemoglobiini ja hematokriitti kertovat, paljonko rautaa on käytettävissä kudoksissa. Näiden lisäksi on myös uudempiä kehon rautavarastoja kuvaavia parametrejä, kuten esimerkiksi hepsidiini. (Pfeiffer & Looker 2017.)

Ferritiiniä voidaan käyttää raudanpuutteen havaitsemisessa terveillä henkilöillä ja isommissa populaatioissa (Mei ym. 2005). Se ei kuitenkaan kerro raudanpuutteen vakavuudesta enää tilanteessa, jossa rautavarastot ovat täysin tyhjentyneet, jolloin toiminnallista raudanpuutetta kuvaavan hemoglobiinikonsentraation merkitys kasvaa (Cook ym. 1992). Hemoglobiini ja ferritiini ovat paras yhdistelmä seurata raudanmäärän muutoksia populaatiossa. Tämä yhdistelmä havaitsee herkästi muutokset kehon raudanmäärässä. (Mei ym. 2005.) Ferritiinin ja hemoglobiinin molempien mittaaminen antaa laajimman kuvan raudanpuutteen tasosta.

2.2.1 Ferritiini

Ferritiini on raudan varastointiproteiini, jonka mittaaminen verestä kuvaa kehon rautavarastojen suuruutta ja jonka alhainen pitoisuus kertoo raudanpuutteesta (Garcia-Casal ym. 2018). Ferritiinin mittaaminen on yleisin raudanpuutteen mittaamiseen käytetty menetelmä, mutta sen käytettävyyttä heikentää reagoiminen tulehdukseen (Pfeiffer & Looker 2017). Tulehdustilassa ferritiiniarvot saattavat kohota, jolloin mahdollista raudanpuutetta ei välttämättä havaita (Garcia-Casal ym. 2018). Ferritiinin määrä kuvaa kehon rautavarastoja, mistä syystä se on parempi mittari raudan riittävyydelle kuin raudanpuutteelle. Kun rautavarastot ovat täysin tyhjentyneet, ei ferritiini enää kerro raudanpuutteen määrästä ja vakavuudesta. Tästä syystä ferritiini ei yksistään ole luotettava mittari raudanpuuteanemian määrittämisessä. (Cook ym. 1992.)

Ferritiinin määrä mitataan vasta-ainemäärityksessä, joka tehdään täysautomatisoidulla kliinisellä analysaattorilla, yleensä ELISAlla tai EIAlla (Pfeiffer & Looker 2017; World Health Organisation 2020). Maailman terveysjärjestö on määrittänyt ferritiinin raja-arvot naisilla 15–150 µg/l (World Health Organisation 2020). Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä (HUS) ferritiinin viitearvot ovat naisilla 15–125 µg/l. Kirjallisuudessa ferritiinin raja-arvona raudanpuutteessa käytetään myös 30 µg/l. (Terveyskirjasto 2021.)

2.2.2 Hemoglobiini

Hemoglobiini on happea sitova proteiini punasoluissa, joka kuljettaa happea keuhkoista kudoksille ja työtä tekeville lihaksille (Baldwin 1976). Se on yleisesti käytetty mittari raudanpuutetta määrittäessä sen edullisuuden, helppouden ja nopeuden takia (Mei ym. 2005). Sitä käytetään usein mm. perusveren kuvan ja ferritiinin kanssa raudanpuutetta määritettäessä (Terveyskirjasto 2022). Hemoglobiini yksistään ei ole hyvä mittari raudanpuutteen tasoa selvittäessä, sillä hemoglobiini kuvaa raudanpuutteen suuruutta silloin, kun rautavarastot ovat jo täysin tyhjentyneet (Mei ym. 2005; Cook ym. 1992). Hemoglobiinikonsentraatio on kuitenkin tärkeä indikaattori raudanpuuteanemiaa määritettäessä (Mei ym. 2005). Hemoglobiinin heikkous kehon rautatasojen arvioinnissa on se, että hemoglobiinikonsentraatio saattaa laskea tulehduksen ja raskauden seurauksena riippumatta muutoksista kehon raudanmäärässä. Nestehukka, tupakointi ja korkea ilmanala taas saattavat nostaa hemoglobiinikonsentraatiota. (Pfeiffer & Looker 2017.)

Hemoglobiinikonsentraation mittaamiseen käytetään virtaussytometriaa hyödyntäviä täysautomatisoituja solulaskureita. Nämä laitteet pystyvät laskemaan eri solujen määrän tarkasti suures-takin näytteestä. Laitteet vaativat kuitenkin tuoreita verinäytteitä ja hyvää näytteenottotekniikkaa, jotta näyte olisi validi. (Pfeiffer & Looker 2017.) Suomessa hemoglobiinin viitearvot määritellään naisilla 117–155 g/l (Terveyskirjasto 2022). WHO:n suositusten mukaan anemia määritellään naisilla alle 120 g/l (WHO 2011). Alhaisesta hemoglobiinista käytetään myös nimitystä anemia (Terveyskirjasto 2022).

2.2.3 Hepsidiini

Hepsidiini on peptidihormoni, joka ylläpitää ja säätelee sopivaa raudan määrää kehossa. Sitä tuotetaan pääosin maksasoluissa. (Hare 2017.) Hepsidiinin toiminta perustuu rautaa solun seinämän läpi siirtävän kuljetusproteiinin ferroportinin sitomiseen ja hajottamiseen, joka heikentää raudan imeytymistä vähentämällä raudan ”vuotoa” ohutsuolen epiteelin soluista. Raudanpuutteessa hepsidiinin erityis laskee, jolloin ferroportinin ilmentyminen lisääntyy ja enemmän

rautaa pääsee imeytymään verenkiertoon ohutsuolen epiteelisolujen kautta. Normaalitilanteissa plasman rautapitoisuus toimii hepsidiinin erityksen säätelijänä, mutta tulehdustilassa interleukiini 6:een (IL-6) liittyvät tekijät lisäävät hepsidiinin transkriptiota, mikä vähentää raudan imeytymistä verenkiertoon. (Restrepo-Gallego ym. 2021.)

Hepsidiiniä voidaan mitata verestä tai virtsasta vasta-ainemäärityksellä tai massaspektrometrillä. Hepsidiiniä mittaavien menetelmien heikkoutena ovat standardisoitujen menetelmien ja viitearvojen puute sekä tulehdukseen reagoiminen (Pfeiffer & Looker 2017.) Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä (HUS) hepsidiinin viitearvot ovat alle 50-vuotiailla naisilla 0,4–9,2 nmol/l (HUS; Itonen ym. 2012). Galesloot ym. (2011) tutkimuksessa saatiin hepsidiinin viitearvoiksi suuressa otoksessa normaaliväestössä alle 50-vuotiaille naisilla keskiarvoisesti 0,4–16,2 nmol/l. Yksi nmol/l vastaa 2,79 µg/l (Galesloot ym. 2011), jolloin viitearvot mikrogrammoina litraa kohden ovat HUSin mukaan 1,1–25,7 µg/l ja Galeslootin ym. (2011) mukaan 1,1–45 µg/l.

2.3 Raudanpuute naisurheilijoilla

Raudanpuutetta esiintyy enemmän urheilijoilla kuin ei-urheilijoilla (Beard & Tobin 2000) ja etenkin nuoret naisurheilijat ovat riskissä raudanpuutteelle (Toivo ym. 2020). Alla olevissa taulukoissa on esitetty raudanpuutteen, alhaisen hemoglobiinin ja raudanpuuteanemian yleisyyttä naisurheilijoilla eri tutkimusten mukaan. Useimmissa tutkimuksissa on tutkittu raudanpuutetta pelkästään ferritiinin osalta ja osassa lisänä alhaista hemoglobiinia. Raudanpuuteanemiaa tarkasteltiin näistä tutkimuksissa vain kolmessa.

Taulukko 1. Raudanpuutteen yleisyys sekä raja-arvot ferritiinin mukaan eri tutkimuksissa.

Tutkimus	N	Yleisyys (%)	Raja-arvot (µg/l)	Tutkittava ryhmä
Auersperger ym. (2013)	14	50 → 71 %	<20	Juoksijat (harrastaja)
Coates ym. (2016)	5/9	60/11 %	<15	Eliittitason triathlonistit/juoksijat
DellaValle & Haas (2011)	149	30/12 %	<20/<12	Yliopistotason soutajat
Hinrichs ym. (2010)	17	24 %	<25	Maajoukkueetason maahockeypelaajat
Gropper ym. (2005)	70	24 %	<15	Yliopistotason urheilijat
Parks ym. (2017)	1133	33 %	<20	Yliopistotason urheilijat
Mettler & Zimmermann (2010)	43	28 %	<15	Maratonjuoksijat (ei-urheilijat) Aerobista harjoittelua harrastavat
Petkus ym. (2019)	82/109	15/26 %	<15	(AMEN/EUM)
Koehler ym. (2012)	97	57/7 %	<35/<12	Nuoret eliittitason eri lajien urheilijat
Sandström ym. (2012)	57	52 %	<16	Lukioikäiset eliittitason urheilijat
Di Santolo ym. (2008)	70	27 %	<12	Nuoret ei-ammattuurheilijat
Toivo ym. (2020)	203	23 %	<15	14–17-vuotiaat seuroissa urheilua harrastavat

Taulukko 2. Alhaisen hemoglobiinin yleisyys naisurheilijoilla eri tutkimuksissa.

Tutkimus	N	Yleisyys (%)	Raja-arvot (g/l)	Tutkittava ryhmä
Coates ym. (2016)	5/9	20/0 %	<120	Eliittitason triathlonistit/juoksijat
DellaValle & Haas (2011)	149	10 %	<120	Yliopistotason soutajat
Parks ym. (2017)	1133	4 %	<116	Yliopistotason urheilijat
Koehler ym. (2012)	97	6 %	<120	Nuoret eliittitason eri lajien urheilijat
Sandström ym. (2012)	57	9 %	<120	Lukioikäiset eliittitason urheilijat
Di Santolo ym. (2008)	70	16 %	<120	Nuoret ei-ammattuurheilijat
Toivo ym. (2020)	203	6 %	<120	14–17-vuotiaat seuroissa urheilua harrastavat

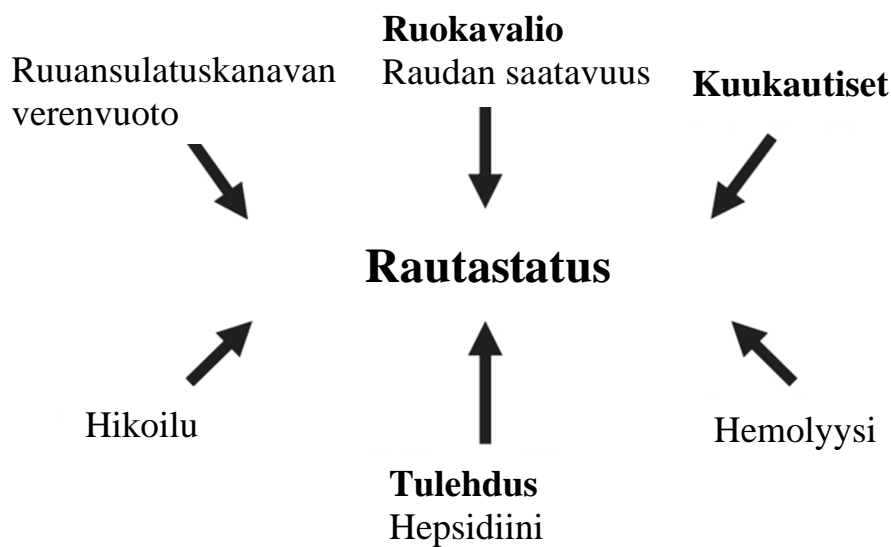
Taulukko 3. Raudanpuuteanemian yleisyys naisurheilijoilla eri tutkimuksissa.

Tutkimus	N	Yleisyys (%)	Raja-arvot hb (g/l)/fer (µg/l)	Tutkittava ryhmä
Coates ym. (2016)	5/9	20/0 %	<120/<25	Eliittitason triathlonistit/juoksijat
Parks ym. (2017)	1133	2 %	<116/<20	Yliopistotason urheilijat
Di Santolo ym. (2008)	70	9 %	<120/<12	Nuoret ei-ammattuurheilijat

Hb=hemoglobiini; fer=ferritiini

Naisurheilijoiden rautastatukseen vaikuttavat riittämätön raudansaanti ruokavaliosta, raudanmenetys kuukautisten takia, ruuansulatuselimistön verenvuoto ja heikentynyt raudan imeytyminen harjoittelun takia lisääntyneiden tulehdustekijöiden sekä hepsidiinin takia (kuva 3) (McClung 2012). Naisurheilijoilla, jotka saavat riittävästi rautaa ruokavaliosta, on todennäköi-

semmin normaali rautastatus (Koehler ym. 2012). Kuukautisstatusta pidetään myös määrittäväänä tekijänä harjoittelevien naisten raudanpuutteen riskissä (Petkus ym. 2017). Kuukautisten runsaus ja kesto on yhteydessä rautastatukseen: mitä runsaammat ja pidemmät kuukautiset, sitä todennäköisemmin alhaisemmat rautatasot (Milman ym. 1998). Urheilevat eumenorriset naiset ovat suuremmissa riskissä raudanpuutteelle kuin amenorriset urheilevat naiset (Petkus ym. 2019), mikä todennäköisesti johtuu juuri kuukautisten aikana menetetyistä raudasta. Raudanpuutteen yleisyydessä ei kuitenkaan löytynyt eroja runsaiden vuotojen ja vähäisten vuotojen ryhmien välillä (Petkus ym. 2019). Toisaalta amenorrean taustalla usein oleva matala energiansaataavuus on myös jo itsessään riski raudanpuutteelle (Petkus 2017; Finn ym. 2011).



KUVA 3. Rautastatukseen vaikuttavat tekijät naisurheilijoilla (tummennetulla päätekijät) (muokailtu, McClung ym. 2014).

Kestävyyslajien urheilijoita pidetään suuremmissa riskissä raudanpuutteelle johtuen riittämättömästä energiansaannista, raudan huonosta imeytymisestä ja lisääntyneestä raudanmenetyksestä (Hinton 2014). Harjoittelusta aiheutuvaa raudanpuutetta voi ilmetä etenkin kovemman harjoittelujakson alkaessa ja siihen totuttautuessa (Alaunyte 2015). Kestävyysurjoittelulla on todettu olevan myös itsenäinen vaikutus rautastatukseen (Anschuetz ym. 2010). Harjoittelun aikana tapahtuva raudan menetys voi liittyä kovasta iskutuksesta johtuvaan punasolujen hajoamiseen, veren esiintymiseen virtsassa, hikoilemiseen ja ruuansulatuskanavan verenvuotoon. Myös tulehdustekijöiden kuten IL-6:n määrä veressä voi kasvaa harjoituksen jälkeen, mikä lisää hepsidiinin tuottoa, mikä puolestaan vähentää raudan imeytymistä suolistosta verenkiertoon. (Auersperger ym. 2012; Buratti ym. 2015). Tätä tapahtuu etenkin totuttautuessa kovempaan harjoitteluun (Auersperger ym. (2012). Kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu

yhteyttä rautatasojen ja harjoittelun määrän välillä (Koehler ym. 2012). Vaikka kestävyysurheilijoita pidetäänkin suuremmissa riskissä raudanpuutteelle, kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole löydetty eroja eri lajien urheilijoiden välillä. Yliopistotason eri lajien naisurheilijoilla ei havaittu raudanpuutteen suhteen eroja lajien välillä (Gropper ym. 2005; Parks ym. 2017). Koehler ym. (2012) tutkimuksessa ei myöskään havaittu merkitseviä eroja eri lajien urheilijoiden välillä.

Raudanpuutteen on tutkimuksissa havaittu vaikuttavan heikentävästi suorituskykyyn etenkin kestävyyslajien urheilijoilla (DellaValle & Haas 2011; DellaValle & Haas 2012). Toisaalta kaikissa tutkimuksissa ei ole löytynyt yhteyttä maksimaalisen kestävyysuorituskyvyn ja rautastatuksen kanssa. Yhteys on myös vaihdellut eri rautastatusta mittaavien muuttujien välillä. (Hinchrichs ym. 2010.)

2.4 Raudansaanti ruokavaliosta

Raudan imeytymistä säädelään tiukasti, ja päivittäin rautaa imeytyy suolistosta n. 1–2 mg/pv tarkasti menetetyn raudan määrän verran. Kehon sisäinen raudan säätely on tärkeässä roolissa, jotta rautaa olisi riittävästi punasolujen tuottoa varten (2–30 mg/pv). (Muñoz ym. 2009.) Kehon kokonaisraudanmäärää kontrolloidaan raudan imeytymisellä, sillä keholla ei ole fysiologiasta mekanismeja poistaa ylimääräistä rautaa kehosta. Liiallinen raudansaanti on kuitenkin myrkyllistä, ja se voi vahingoittaa sydäntä, maksaa, ihoa, haiman beetasoluja, luita, niveliä ja aivosäköä. (Winter ym. 2014.) Raudan imeytymisen säätelyyn vaikuttaa sen hetkinen rautastatus ja ruuasta saadun raudan määrä. Henkilöillä, joilla on korkeat rautavarastot, imeytyy vähemmän rautaa kuin henkilöillä, joilla rautavarastot ovat pienet. Raudan imeytymiseen vaikuttaa ravinnon raudan määrän ja laadun lisäksi sen koostumus. Mm. C-vitamiini, tietyt orgaaniset hapot, liha ja kala parantavat raudan imeytymistä, kun taas fytaatit, fenolihdisteet sekä kalsium heikentävät raudan imeytymistä. (Alaunyte ym. 2015.)

Naisten suositellaan saavan ruokavaliosta 15 mg rautaa päivittäin. Kuukautisten aikaan keho menettää noin 15–30 mg rautaa kuukautisveren mukana, minkä takia päivittäisen raudantarve naisilla on suurempi kuin miehillä, jotta kuukautisveren mukana menetetyn raudan määrä voidaan korvata (McArdle 2015, 65). Tutkimuksissa on havaittu, että naisurheilijoilla voi olla vaikeuksia saavuttaa päivittäinen raudantarve ruokavaliosta (Koehler ym. 2012; Beermann ym. 2020). Ylläpitääkseen riittävää rautastatusta naisurheilijoiden tulisi noudattaa tasapainoista

ruokavaliota, joka sisältäisi riittävästi rautaa sekä raudan imeytymistä edistäviä ruoka-aineita (McClung 2012).

Raudan imeytymiseen ohutsuolessa vaikuttavat rautastatus, syödyn raudan muoto sekä aterian koostumus. Ohutsuolessa imeytyy noin 10–15 % ruuasta saadun raudan määrästä. (McArdle 2015, 66.) Ravinnosta saatua rautaa saa kahdessa eri muodossa, hemi- ja ei-hemimuodoissa. Ei-hemirautaa on runsaasti kasvi- ja eläinperäisissä ravinnonlähteissä, ja se on vallitseva raudanmuoto kasveissa. Ruuasta saadusta hemiraudasta taas suurin osa tulee eläinperäisestä hemoglobiinista ja myoglobiinista. Hemiraudan imeytyminen ohutsuolessa verenkiertoon on huomattavasti tehokkaampaa kuin ei-hemiraudan, sillä siihen ei vaikuta ruokavaliion koostumus toisin kuin non-hemirautaan. Vatsalaukun matala pH edistää ei-hemiraudan pysymistä liukenevassa muodossa. Pienet orgaaniset hapot kuten sitruuna- ja askorbiinihappo edistävät ei-hemiraudan imeytymistä. (Anderson ym. 2017.) Esimerkiksi C-vitamiinin lisääminen ruokavaliioon voi tehostaa raudan imeytymistä, jolloin isompi osa ruuasta saadusta raudasta saadaan kehon käyttöön (McArdle 2015, 66). Tämä voi auttaa kasvisruokavaliota noudattavia naisurheilijoita täyttämään päivittäinen raudantarve. Fytaatit, tanniinit ja polyfenolit taas sitovat ei-hemirautaa ja heikentävät sen imeytymistä verenkiertoon (Anderson ym. 2017). Esimerkiksi kalsium heikentää raudan imeytymistä (Hallberg ym. 1991), joten kalsiumin- ja raudanlähteiden samanaikaista syömistä olisi hyvä välttää, etenkin jos on raudanpuutetta. Kasvisruokavaliota noudattavat naiset saattavat olla riskissä liian vähäiselle raudansaannille ei-hemiraudan heikomman imeytymisen takia. He tarvitsevat ruuasta rautaa kaksi kertaa enemmän kuin lihasyöjät, jotta huonommin imeytyvän raudan määrä saadaan kompensoitua. (McArdle 2015, 66.) Hemirauta kattaa noin kymmenen prosenttia kaikesta ravinnosta saadusta raudasta. Noin puolet ruuasta saadun raudan määrästä tulee viljatuotteista, ja ei-hemirauta kattaakin suurimman osan ruuasta imeytyneen raudan määrästä. (Alaunyte ym. 2015.) Hemirautaa saa mm. naudan- ja sianlihasta sekä tonnikalasta. Ei-hemiraudan hyviä lähteitä taas ovat kaura, pinaatti, pavut ja linssit. (McArdle 2015, 66.)

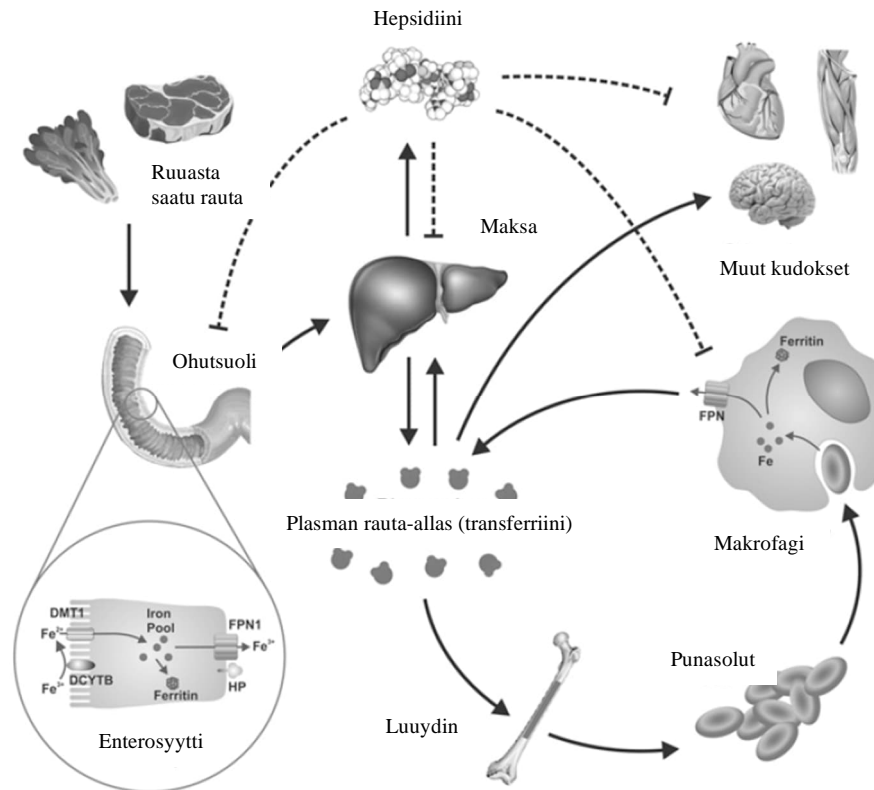
Vähähiilihydraattinen ruoka lisää veren hepsidiinikonsentraatiota sekä harjoituksen jälkeistä interleukiini-6-vastetta verrattuna runsashiilihydraattiseen ruokavaliioon ja saattaa sitä kautta vaikuttaa negatiivisesti urheilijan rauta-aineenvaihduntaan (Badenhorst ym. 2015). Badenhorstin ym. (2016) tekemässä tutkimuksessa runsashiilihydraattinen ruokavaliio ei kuitenkaan onnistunut laskemaan harjoituksen jälkeisiä veren IL-6- ja hepsidiinikonsentraatioita. D-vitamiini-

nin iso annostus taas saattaa vähentää hepsidiinikonsentraatiota verenkierrossa, ilman muutoksia tulehdustekijöissä (Smith ym. 2017). Kyseisessä tutkimuksessa ei kuitenkaan ilmennyt eroja veren ferritiinikonsentraatiossa D-vitamiinilisää saaneen ryhmän ja kontrolliryhmän välillä.

Raudanpuutetta voidaan hoitaa oraalisilla rautalisillä, suonensisäisillä pistoksilla ja ruokavalion muokkaamisella sisällyttämällä runsaasti rautaa sisältäviä tuotteita ruokavalioon. (Alaunyte ym. 2015). Raudansaannin ollessa riittämätöntä rautalisän käyttö parantaa rautastatusta sekä saattaa myös parantaa aerobista kapasiteettia kestävyysurheilijoilla, joilla on raudanpuute ilman anemiamia (DellaValle 2013; Burden ym. 2015). Rautalisien käyttö onkin yleinen hoitomuoto urheilijoilla, joilla todetaan raudanpuute. (Burden ym. 2015.) Rautalisät saattavat kuitenkin aiheuttaa ikäviä sivuvaikutuksia, kuten vatsakipua, ummetusta ja pahoinvointia. Tästä syystä ruokavalion muokkaamista ehdotetaan ensisijaiseksi raudanpuutteen ehkäisijäksi (Alaunyte ym. 2015).

2.5 Rautavarastot sekä raudan kierto kehossa

Raudan kierrossa toimii neljä erilaista solutyyppeä. Enterosyytit eli ohutsuolen lieriöepiteelin solut hoitavat raudan imeytymisen ja raudan kokonaismäärän säätelyn. Erythroblastit eli punasolujen esiasteet luuytimessä taas käyttävät rautaa punasolujen tuotossa. Pernan makrofagit hajottavat vanhentuneita punasoluja ja vapauttavat raudan takaisin luuytimeen uusiokäyttöön transferriinin avulla. Hepatosyytit eli maksasolut aistivat transferriinin ja raudan määrää, jonka mukaan ne säätelevät raudan imeytymistä suolistosta ja vapautumista pernasta hepsidiini-hormonin avulla. (Winter ym. 2014). Kuvassa 4 esitetään raudan kierto kehossa.



KUVA 4. Raudan kierto kehossa (Anderson ym. 2017).

Rauta imeytyy ohutsuolesta verenkiertoon ja yhdistyy veren plasman betaglobuliiniin, apotransferriniin, muodostaen transferriniä. Transferriniin sitoutunut rauta kuljetetaan veressä rautaa tarvitseville kudoksille. Rauta on löyhästi sitoutunut transferriniin, joten se on helppo vapauttaa rautaa tarvitseville kudoksille. Solujen sytoplasmassa rauta sitoutuu apoferritiiniproteiiniin muodostaen ferritiiniä. Ferritiiniin sitoutunutta rautaa kutsutaan varastoraudaksi. Ylimääräinen rauta, jota ei pystytä sitomaan ferritiiniin, säilötään hemosideriiniin, jossa rauta on liukenemattomassa varastomuodossa. Jos veren plasman raudan määrä taas laskee, osa ferritiinialtaan raudasta irrotetaan ja kuljetetaan transferrinin avulla niihin kehon osiin, joissa on tarvetta raudalle. (Hall 2021, 444.)

Rautaa imeytyy ohutsuolen kaikista osista sitoutuen apotransferriniin, jota tuotetaan maksassa sappinesteeseen. Sappineste kulkeutuu sappitietä pitkin pohjukaissuoleen, missä apotransferrini sitoutuu raudan sekä myös lihasta saadun hemoglobiinin ja myoglobiinin kanssa muodostaen transferriniä. Transferrini tarttuu suoliston epiteelisolujen reseptoreihin ja siirtyy endosytoosilla suoliston epiteelisolujen sisään, josta transferrini myöhemmin vapautetaan endoteelisoluja ympäröiviin kapillaareihin ja sitä kautta verenkiertoon. Raudan imeytyminen ohutsuolesta on hyvin hidasta, maksimissaan vain muutama milligramma päivässä. Tästä syystä,

vaikka ruokavalio sisältäisikin paljon rautaa, vain pieni osaa pystytään ottamaan kehon käyttöön. Ohutsuolesta imeytyvän raudan määrää vähennetään huomattavasti, kun kehon rautavarastot ovat täynnä eli kaikki apoferritiinit sisältävät jo rautaa. Toisaalta taas, jos rautavarastot ovat tyhjentyneet ja kehossa on paljon apoferritiiniä, raudan imeytymistä suolistosta lisätään. (Hall 2021, 445.)

Raudan imeytymistä säädellään enterosyyteissä kudoksen happijännityksen, solunsisäisten rautavarastojen ja hepsidiinin välittämän raudantarpeen avulla. Ferritiinin sitoutumista erytroblasteihin säätelee raudan saatavuus, joka vaikuttaa ferritiiniä sitovan reseptorin ilmentymisen säätelyyn. Pernassa hepsidiini säätelee raudan vapauttamisen määrää ferroportinin ekspressiolla, aivan kuten enterosyyteissäkin. Maksasolut aistivat kokonaisraudan määrää ja säätelevät raudan imeytymistä ja kierrätystä erittämällä hepsidiiniä. Hepsidiini sitoutuu ferroportiniin ja vähentää raudan kuljetusta ulos solusta. Hepsidiinin erityistä säätelevät tulehdus (IL-6), maksasolujen rautapitoisuus ja transferriinisaturaatio sekä luuytimen erytropoieettinen aktiivisuus. (Winter ym. 2014.)

3 ENERGIANSAAATAVUUS

Energiansaatavuus kuvastaa sitä energianmäärää, joka jää käytettäväksi kehon toimintoihin, kuten hormonitoimintaan, vastustuskykyyn ja hengittämiseen, liikunnan aikaisen energiankulutuksen jälkeen. Liikuntafysiologiassa energiansaatavuus (EA) määritetään ruokavaliosta saadulla energialla (EI), josta vähennetään harjoituksen aikainen energiankulutus (EEE), eli $EA = EI - EEE$. (Loucks ym. 2011). Energiansaatavuutta kuvataan kilokaloreilla suhteessa rasvattomaan massaan (kcal/FFM) (Loucks 2004; Loucks 2007). Jos energiansaatavuus on liian pientä, keholle ei jää tarpeeksi energiaa lepoenergiankulutuksen sekä harjoittelun aiheuttamien lihaskaurioiden korjaamiseen. Tämä heikentää urheilijan palautumista. (Ilander 2014, 23.)

Energiatasapaino kuvaa ruuasta saadun energian määrää, joka jää kehoon tai poistuu kehon energiavarastoista päivän aikana kehon kaikkien fysiologisten prosessien jälkeen. Energiatasapaino (EB) määritetään vähentämällä ruuasta saatu energia kokonaisenergiankulutuksesta ($EB = EI - TEE$). Terveillä nuorilla aikuisilla energiatasapaino on nollassa, kun energiansaatavuus on 45 kilokaloria per kg rasvatonta massaa kohden päivässä (45 kcal/kg (FFM)/pv). (Loucks ym. 2011.) Urheilijoilla energiatasapainon tulisi olla hieman positiivisen puolella, jotta urheilijan optimaalinen kehittyminen olisi mahdollista. Jos energiatasapaino on negatiivisen puolella, joutuu keho käyttämään omia rasvavarastojaan energiansaannin turvaamiseksi. Tämä luonnollisesti pienentää kehon rasvamassan määrää. Jos energiansaanti on kuitenkin liian vähäistä, keho alkaa käyttää myös proteiineja paikataksaan energiavajetta, mikä vähentää lihaskmassan määrää. Suuri energiavaje haittaa myös urheilijan optimaalista kehitystä, sillä energiavaje heikentää harjoitusadaptaatioita sekä altistaa loukkaantumisille ja ylipainotilalle. (Ilander 2014, 22–23.) Energiatasapaino ei kuitenkaan kuvaa tarpeeksi hyvin kehon energiavaatimuksia, joten se ei toimi hyvänä urheilijan ruokavaliosta saadun tarpeellisen energian mittarina (Loucks ym. 2011.) Energiansaatavuutta käytetäänkin urheilijoilla energiavaatimusten arvioinnissa.

3.1 Matala energiansaatavuus

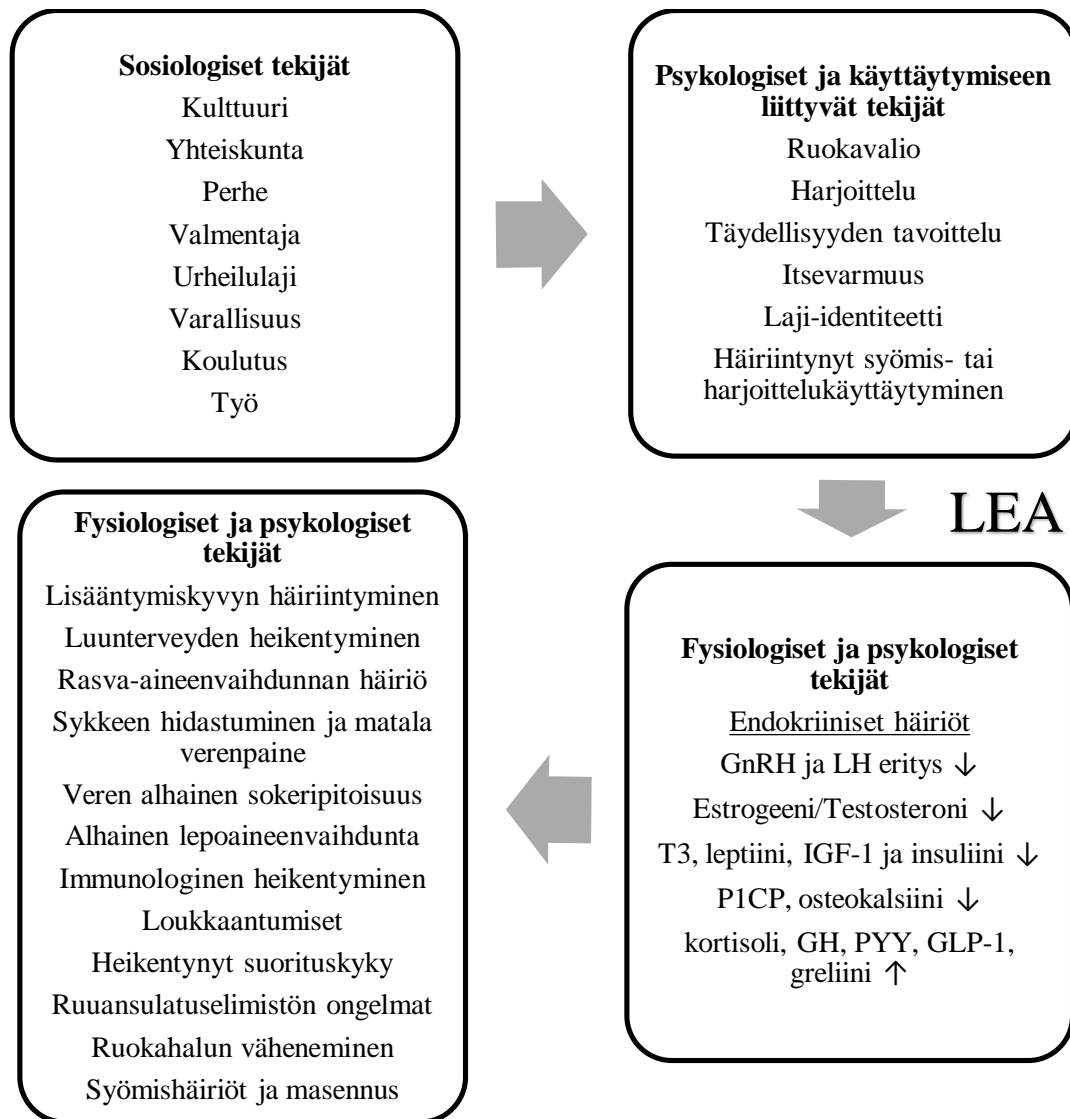
Laboratoriotutkimusten perusteella optimaalinen energiansaatavuus naisilla on 45 kcal rasvatonta painokiloa kohden (Loucks & Heath 1994; Loucks & Thuma 2003). Alle 30 kcal/kg (FFM)/pv:n energiansaatavuus ei riitä turvaamaan kehon normaaleja fysiologisia toimintoja leivossa nuorilla aikuisilla (Loucks ym. 2011), jolloin luun mineralisaatio hidastuu, insuliininkaltaisen kasvutekijän (IGF-1) sekä trijodityroniinin (T3) erityis laskee, luteinisoivan hormonin (LH) erityis häiriintyy ja lisääntymistoiminnot heikkenevät (Ihle & Loucks 2004; Loucks &

Thuma 2003; Loucks ym. 1998). Lisääntymiselinten ja hormonien normaali toiminta kertovat energiaravintoaineiden riittävästä saatavuudesta. Kuukautiskierron häiriöitä voidaan ehkäistä pitämällä energiansaataavuus yli 30 kcal/kg (FFM)/pv. (Loucks 2004.) Alle 30 kcal/kg (FFM)/pv pidetään rajana luteinisoivan hormonin normaalille toiminnalle (Melin ym. 2019). Kuvassa 5 on esitetty energiansaataavuuden tasot.

~25–30 kcal/kg FFM		→ ~35–45 kcal/kg FFM		→ ~45 kcal/kg FFM	
Alhainen energiansaataavuus	Kohtalainen energiansaataavuus	Optimaalinen energiansaataavuus	Optimaalinen energiansaataavuus		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Terveys ja suorituskyyky saattavat kärsiä → Huom. Yksilöllistä missä ”riskitaso” kullakin yksilöllä sijaitsee	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Järkevä painonpudotus → Huom. Yksilölliset ja sukupuolierot	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Painon ylläpito ▪ Kehittyminen ▪ Suorituskyvyn nosto → Huom. Yksilöllistä missä optimi sijaitsee	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lihasmassan kasvattaminen ▪ Painon nostaminen 		

KUVA 5. Energiansaataavuuden tasot (mukailtu, Heikura 2021, 17).

Alle 30 kcal/kg (FFM)/pv pidetään kohtalaisen ja alhaisen energiansaataavuuden rajana. Kun energiansaataavuus on tämän alle, puhutaan alhaisesta energiansaataavuudesta. (Heikura 2021, 17.) Alhainen energiansaataavuus voi heikentää urheilusoritusta ja aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia, kuten lisääntyneen riskin tuki- ja liikuntaelimistön vammoille (Melin ym. 2019) sekä infektioihin sairastumiselle (Burke ym. 2018). Näitä haitallisia terveysvaikutuksia sekä fysiologisia häiriöitä voidaan ehkäistä lisäämällä energiansaantia, jotta harjoituksen aiheuttama energiankulutus saataisiin kompensoitua ilman että harjoitusohjelmaa tarvitsee muuttaa (Loucks 2004). Kuvassa 6 on esitelty matalan energiansaataavuuden mahdollisia syitä ja seurauksia.



KUVA 6. Matalan energiansaataavuuden mahdollisia syitä sekä seurauksia (mukailtu, Melin ym. 2019). GnRH=gonadotrooppinen hormoni, LH=luteinisoiva hormoni, T3=trijodityroniini, IGF-1=insuliininkaltainen kasvutekijä, P1CP=tyypin I prokollageenin C-terminaalisen propeptidin pitoisuus seerumissa, GH=kasvuhormoni, PYY=peptidi YY, GLP-1=glukagoninkaltainen peptidi.

Energiansaataavuuden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia, sillä energiansaannin ja energiankulutuksen määrittämiseen ei ole yhdenmukaista tapaa. Sen lisäksi matalan energiansaataavuuden määrittely on vielä puutteellista. Menetelmät tutkia energiansaataavuutta ovat työläitä ja resurssien puute hankaloittaa energiansaataavuuden arvioimista entisestään. Tästä syystä tällä hetkellä käytössä olevia menetelmiä ei suositella käytettävän yksinään, vaan fysiologisia markkereita

voisi käyttää nykyisten menetelmien tukena energiansaatavuuden aikaisia muutoksia tutkittaessa yksilötasolla. (Burke ym. 2018.) Heikuran ym. (2018) poikkileikkausanalyysin perusteella veren hormonikonsentraatiot ja lisääntymistoimintoja kuvaavat kyselyt näyttäisivät antavan objektiivisemmän ja tarkemman kuvan optimaalisesta energiansaannista energiansaatavuutta arvioitaessa kuin ruoka- ja harjoituspäiväkirjat, jotka voivat olla virhealttiita ja aikaa vieviä. Myös alentunut lepoaineenvaihdunta (resting metabolic rate, RMR) voisi toimia yhtenä matalan energiansaatavuuden indikaattoreista (Melin ym. 2015). Leptiini, insuliini, IGF-1 ja trijodityroniini (T3) ovat aikaisempien tutkimusten perusteella herkkiä markkereita riittämättömälle energiansaannille suhteessa energiakulutukseen. Näiden hormonien mittaamisen käyttö on kuitenkin rajoitettua, joten itseraportoitu energiansaatavuus (EA) perustuen ruoka- ja aktiivisuuspäiväkirjoihin voisi toimia vaihtoehtona energiansaatavuuden arvioinnissa urheilijoilla. (Koehler ym. 2013.) Koehlerin (ym. 2013) poikkileikkaustutkimuksen perusteella energiansaatavuus oli negatiivisesti yhteydessä leptiiniin, mutta ei insuliiniin, IGF-1:een tai trijodityroniiniin. Tämän tutkimuksen perusteella itseraportoidun energiansaatavuuden ja energiastatusta indikoivien metabolisten hormonien väliltä puuttui yhteys. (Koehler ym. 2013.) Matalan energiansaatavuuden havaitseminen fysiologisten markkerien mukaan on korvannut ruoka- ja aktiivisuuspäiväkirjojen sekä kiihtyvyyssantureiden käytön, mikä voi helpottaa ja parantaa terveys- ja suorituskykytulosten tutkimista liittyen matalaan energiansaatavuuteen (Logue ym. 2020).

3.2 Energiankulutuksen ja -saannin mittaaminen

Kokonaisenergiankulutus koostuu kolmesta osasta, perusaineenvaihdunnasta, ruuan lämmittävästä vaikutuksesta ja liikunnan aiheuttamasta energiankulutuksesta. Perusaineenvaihdunta kertoo, paljonko energiaa kulutetaan, kun henkilö makaa paikoillaan täyslevossa paastonneena nukkumisen jälkeen. Perusaineenvaihdunta kattaa istumatyötä tekevillä noin 60 % päivän kokonaisenergiankulutuksesta ja se on myös vahvasti yhteydessä lihasmassan määrään. Ruuan lämmittävä vaikutus kuvaa sitä kasvanutta energiankulutuksen määrää, joka on lisääntynyt liittyen ruuansulatukseen ja ruuan imeytymiseen. Sen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on noin 10 %. Liikunnan aiheuttama energiankulutus taas kertoo liikunnan aiheuttaman energiankulutuksen määrän, ja se voidaan jakaa tarkoituksenmukaiseen urheiluun ja liikkumiseen sekä harjoituksen ulkopuoliseen liikkumiseen eli arkiaktiivisuuteen. Säännöllisesti harjoittelevilla liikunnan aiheuttama energiakulutus kattaa noin 10 % päivittäisestä kokonaisenergiankulutuksesta. (Levine 2005.)

Energiankulutusta voidaan mitata epäsuoralla kalorimetrialla, suoralla kalorimetrialla ja ei-kalorimetrisillä menetelmillä. Epäsuorassa kalorimetriassa mitataan hapenkulutusta ja/tai hiilidioksidin tuottoa ja ne muutetaan energiankulutukseksi kaavan avulla. Suorassa kalorimetriassa kehon lämmöntuoton aiheuttama hukka mitataan kalorimetrillä. Ei-kalorimetrisia menetelmiä käytetään ennustaessa energiankulutusta ekstrapoloiden fysiologisista muuttujista. Näiden menetelmien tarkkuudessa, luotettavuudessa, toistettavuudessa ja hinnoissa on suuria eroja. (Levine 2005).

Suoraa kalorimetriaa pidetään energiankulutuksen kultaisena standardina, mutta sitä ei kuitenkaan käytetä laajasti sen monimutkaisuuden ja korkean hinnan takia. Epäsuoraa kalorimetriaa ja leimattua vettä (double labeled water) pidetään tarkimpina menetelminä mitattaessa energiankulutusta, mutta ne ovat menetelminä kalliita ja vaativat koulutettuja mittaajia. Ennusteyhtälöiden käyttö on yksinkertainen, nopea ja edullinen tapa mitata energiankulutusta, jos niitä on käytetty oikein. Niillä on kuitenkin omat rajoituksensa, ja ne saattavat yli- tai aliarvioida energiankulutusta samoissakin populaatioissa. (Pinheiro Volp ym. 2011.)

Energiansaannin tutkimisessa käytetään yleensä itseraportoitua ravinnonsaantia, joka yleensä on 3–7 päivän retrospektiivinen ruokapäiväkirja. Ne ovat kuitenkin alttiita virhelähteille kuten ravinnonsaannin aliraportoinnille tai alhaisen energiansaatavuuden tapauksessa yliportoinnille. (Badenhorst ym. 2019.) Ruokapäiväkirjan täyttö on kuitenkin kohtuullisen luotettava menetelmä arvioitaessa urheilijan energiansaantia, vaikka ne saattavat antaa todellisuutta pienemmän arvion urheilijoiden energiansaannista johtuen ruokien epätarkasta kirjaamisesta, aliraportoinnista ja tutkimusjakson aikana tapahtuvasta mahdollisesta tahallisesta tai tahattomasta vähemmästä energiansaannista. (Magkos & Yannakoulia 2003.)

3.3 Matalan energiansaatavuuden yleisyys naisurheilijoilla

Matalan energiansaatavuuden on todettu olevan yleistä urheilijoilla. Tutkimuksissa matalan energiansaatavuuden yleisyys vaihtelee 22–58 % välillä. Matalan energiansaatavuuden yleisyyden määrän tarkka arvioiminen on vaikeaa johtuen jatkuvasta menetelmien vaihtelusta energiansaatavuuden arvioinnissa. (Logue ym. 2020.) Yleisurheilijoilla on raportoitu matalaa energiansaatavuutta 18–58 prosentilla urheilijoista, joista eniten matalaa energiansaatavuutta ilmenee kestävyys- ja hyppylajien urheilijoilla (Melin ym. 2019). Melinin ym. (2015) tutkimuksessa 20 prosentilla naisurheilijoista ilmeni matalaa energiansaatavuutta (N=40). Urheilijoiden energi-

ansaatavuuden arvioinnissa käytettiin menetelminä ruokapäiväkirjaa energiansaannin arvioinnissa (EI), sykemittaria ja harjoituspäiväkirjoja harjoituksen aikaisen energiankulutuksen arvioinnissa (EEE) ja laskennallisesti arvioitua sekä mitattua lepoaineenvaihduntaa. (Melin ym. 2015.) Beermannin ym. (2020) tutkimuksessa selvitettiin yliopistotason kestävyysjuoksijoiden energiansaantia sekä -saatavuutta. Tutkimukseen osallistuneista 20 naisesta 41 prosentilla havaittiin matala energiansaatavuus ja vain 18 prosentilla energiansaanti oli riittävää. Tässä tutkimuksessa energiansaatavuus määritettiin harjoituskäytön aikaisen energiankulutuksen, päivittäisen energiansaannin ja rasvattoman massan avulla. (Beermann ym. 2020.) Kaiken kaikkiaan matalan energiansaatavuuden yleisyydessä on tutkimusten mukaan suurta vaihtelevuutta, mihin saattaa myös vaikuttaa eroavaisuudet menetelmien välillä.

3.4 Matalalle energiansaatavuudelle altistavat tekijät naisurheilijoilla

Urheilijoilla voi ilmetä matalaa energiansaatavuutta kliinisestä syömishäiriöstä, tahallisesta energiansaannin rajoittamisesta tai tahattomasta energiavajeesta johtuen (Nattiv ym. 2007; Loucks ym. 2011). Kliinisestä syömishäiriöstä johtuvassa matalassa energiansaatavuudessa on kyse mielenterveyden häiriöstä. Näihin syömishäiriöihin kuuluu anoreksia nervosa eli laihuushäiriö sekä bulimia nervosa eli ahmimishäiriö sekä epätyypilliset syömishäiriöt. Yleisin kliinisistä syömishäiriöistä on epätyypillinen syömishäiriö, joka on heterogeeninen joukko syömishäiriötä, jotka eivät täytä laihuus- tai ahmimishäiriön kriteerejä. Siihen joukkoon kuuluu esimerkiksi ahmintahäiriö, mikä on yleisin epätyypillisen syömishäiriön tyyppi. (Smink ym. 2012.) Syömishäiriöt ovat yleisempiä urheilijoilla kuin ei-urheilijoilla (Sundgot-Borgen & Torstveit 2004). Toisaalta eroja syömishäiriöiden yleisyydessä ei löytynyt urheilijoiden ja ei-urheilijoiden välillä, kun ikä otettiin huomioon (Torstveit ym. 2007). Tätä selitettiin syömishäiriöiden ylläpidolla nuorilla (Hoek & van Hoeken 2003).

Tahallista energiansaannin rajoittamista saattaa ilmetä, kun urheilijat tavoittelevat optimaalista kehonkoostumusta lajiinsa sekä suorituskykyyn nähden. Urheilijat pyrkivät saavuttamaan lajiin vastaavat kehonpainon- ja koostumuksen sekä energiavarastot, jotta he pystyisivät optimoimaan suorituskykyään. Ruokavaliolla onkin tärkeä osa optimaalisten ominaisuuksien saavuttamisessa tietyssä lajissa harjoittelun lisäksi. Tähän voi liittyä myös häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä, kuten paastoamista, laksatiivien käyttöä tai oksentamista (Loucks ym. 2011). Isoin riski häiriintyneelle syömiskäyttäytymiselle on urheilijoilla, jotka harrastavat lajeja, joissa korostetaan hoikkaa vartaloa, on suuri tehopainosuhte tai hyödytään alhaisemmasta kehonpainosta, aerodynamiikan rooli korostuu tai joissa on käytössä painoluokat (Sundgot-Borgen &

Torstveit 2010). Myös mm. persoonallisuustekijät, paine pudottaa painoa, ylikunto, loukkaantumiset ja valmentajan epäasiallinen käytös ovat riskitekijöitä häiriintyneelle syömiskäyttäytymiselle (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010) ja sitä kautta matalalle energiansaataavuudelle. Energiansaannin tahallinen rajoittaminen tavoitteena suorituskyvyn optimointi epäonnistuukin riittämättömän energiansaannin ilmetessä (Loucks ym. 2011).

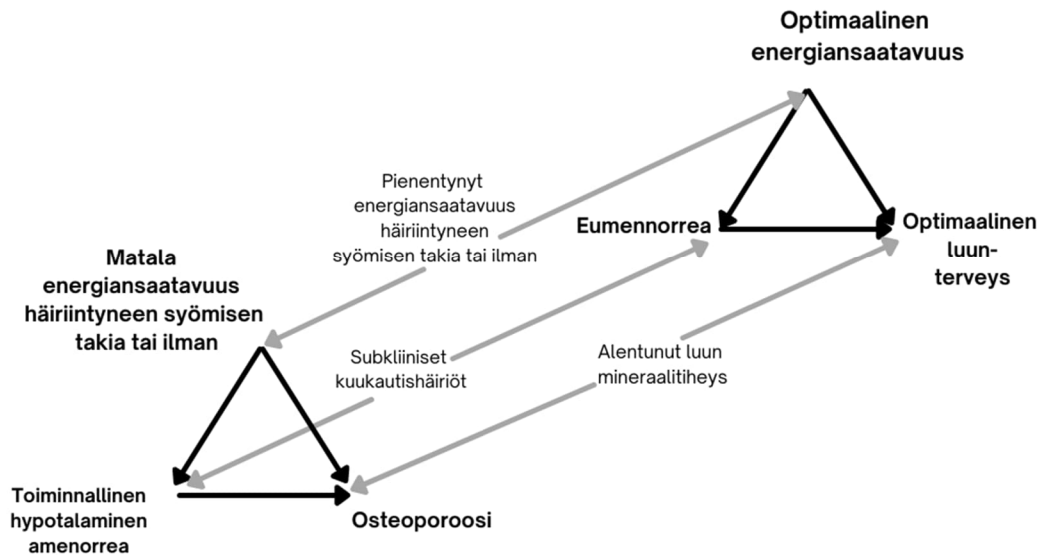
Tahatonta matalaa energiansaataavuutta ilmenee, kun urheilijat epäonnistuvat energiansaannin kasvattamisessa kompensoidakseen harjoittelun aiheuttaman energianvajeen (Loucks ym. 2011). Taustalla saattaa vaikuttaa fysiologinen mekanismi, jossa harjoituksen aiheuttama energiankulutus ei lisää näläntunnetta samassa suhteessa kuin samankokoinen energiavaje johtuen energiansaannin rajoittamisesta. Toisin sanoen, kun energiavaje johtuu energiansaannin rajoittamisesta, lisää se näläntunnetta, mutta jos samankokoinen energiavaje aiheutuu harjoituksen aiheuttamasta kulutuksesta, ei se lisää näläntunnetta. (Hubert ym. 1998; King 1997.) Tämä voi johtaa tahattomaan energiansaannin vähenemiseen. Näläntunne saattaa jopa vähetä paljon urheilivilla johtuen pitkästä fyysisestä harjoituksesta, vaikka harjoituksen kulutus onkin suurta. Näin ollen näläntunne ei kasva suuresta harjoitusmäärästä huolimatta (Stubbs ym. 2004). Jopa yksittäinenkin harjoituskerta saattaa vähentää akuutisti näläntunnetta ja sitä myötä energiansaantia, ja jatkuva harjoittelu saattaakin kroonisesti pitää yllä jatkuvaa pientä energianvajetta monien viikkojen ajan (Loucks ym. 2011).

Keholla ei ole mekanismeita, joka automaattisesti muokkaisi energiansaannin sopivaksi suhteessa kulutukseen (Loucks 2004). Urheilijoilla näläntunne ei ole luotettava indikaattori energiatasapainolle, saati sitten energiaravintoaineiden sopivalle saannille, jonka vuoksi urheilijoiden tulisi syödä suunnitelmallisesti kompensoidakseen harjoittelun aiheuttaman energiavajeen (Loucks 2004; Loucks ym. 2011). Urheilijoiden ei siis pitäisi odottaa näläntunnetta voidakseen syödä, vaan noudattaa tarkempaa suunnitelmaa ja syödä tietty määrä ruokaa suunniteltuina ajankohtina, jolloin voidaan varmistaa riittävä energiaravintoaineiden- ja energiansaanti (Loucks ym. 2011). Tällöin voidaan ehkäistä urheilijoilla ilmenevää matalaa energiansaataavuutta.

3.5 Kuukautisstatus ja energiansaataavuus

Kuukautisstatusta kuvaavat eumenorrea, oligomenorrea ja amenorrea, joista eumenorrea tarkoittaa normaalia kuukautiskiertoa (24–38 vrk, Terveyskirjasto 2022) ja oligomenorrea ja amenorrea taas kuukautiskierron häiriöitä. Oligomenorrealla tarkoitetaan pidentynyttä kuukautiskiertoa ja amenorreassa kuukautiset ovat jääneet kokonaan pois. (Mountjoy ym. 2014.)

Kuukautisstatus ilmentää pitkäaikaista energiansaataavuutta. Pidempiaikaisen matalan energiansaataavuuden seurauksena voi ilmetä kuukautiskierron häiriöitä, kuten oligomenorreaa ja amenorreaa. (Nattiv ym. 2007.) Kuukautishäiriöt sekä matala energiansaataavuus ovat molemmat naisurheilijan oireyhtymän osa-alueita (kuva 7). Naisurheilijan oireyhtymään (Female athlete triad) kuuluu kolme osa-aluetta: 1) matala energiansaataavuus syömishäiriön kanssa tai ilman, 2) kuukautiskierron häiriöt sekä 3) luun alhainen mineraalitiheys. Oireyhtymä on yleinen naisurheilijoilla, ja heillä havaitaan usein yksi tai useampi naisurheilijan oireyhtymän osa-alueista. (Joy ym. 2014.) Naisurheilijan oireyhtymä ilmenee usein matalan energiansaataavuuden seurauksena, mutta sen oletetaan myös liittyvän alhaiseen rautastatukseen (Finn ym. 2021).



KUVA 7. Naisurheilijan oireyhtymän (Female Athlete Triad) osa-alueet ja niiden jatkumo (muokailtu, Joy ym. 2014).

Nykyään puhutaan myös urheilijan suhteellisesta energiavajeesta (Relative Energy Deficiency in Sport, RED-S), joka ottaa huomioon muitakin matalan energiansaataavuuden terveysvaikutuksia niin nais- kuin miesurheilijoilla (Mountjoy ym. 2014). Ackermanin ym. (2019) poikkeikkaustutkimuksessa naisurheilijoiden matalan energiansaataavuuden todettiin olevan yhteydessä suurempaan riskiin RED-S:in aiheuttamille fysiologisille häiriöille, kuten kuukautiskierroksen häiriöille, luiden heikolle terveydelle, aineenvaihdunnallisille sekä hematologisille haittoille, psyykkisille sairauksille sekä verenkierron ja ruuansulatuksen häiriöille.

3.6 Matalan energiansaataavuuden vaikutus rautastatukseen

Matalan energiansaataavuuden ja raudanpuutteen on todettu olevan yhteydessä toisiinsa (Petkus ym. 2017). Monissa tutkimuksissa on löydetty yhteys energiansaannin ja rautastatuksen välillä. Koehlerin ym. (2012) tutkimuksessa raudansaannin määrä ruokavaliosta oli vahvasti yhteydessä päivittäiseen energiansaantiin. Kopp-Woodroffen ym. (1999) tutkimuksessa taas energiansaannin lisäys paransi veren rauta- ja ferritiinipitoisuuksia amenorrisilla urheilijoilla. Finnin ym. (2021) tutkimuksessa tutkittiin alhaisen rautastatuksen markkereiden yhteyttä matalan energiansaataavuuden markkereihin liittyen myös naisurheilijan oireyhtymän riskitekijöihin. Matalan rautastatuksen markerit olivat yhteydessä naisurheilijan oireyhtymän riskitekijöiden kanssa eli ne olivat yhteydessä myös matalaan energiansaataavuuteen. Naisurheilijoilla, joilla on historiaa anemiasta tai rautalisien käytöstä, saattaa olla myös suurentunut riski matalaan energiansaataavuuteen. (Finn ym. 2021.) Mountjoyn ym. (2018) tutkimuksessa havaittiin yhteys raudanpuutteen ja RED-S:stä aiheutuvien hematologisten muuttujien välillä. Ackermanin ym. (2019) kyselytutkimuksessa matalan energiansaataavuuden havaittiin myös olevan yhteydessä suurempaan riskiin hematologisille häiriöille, kuten anemialle sekä veren alhaisille ferritiini- ja hemoglobiinipitoisuuksille. Eumenorrisilla eliittuurheilijoilla oli isompi hemoglobiinimassa verrattuna amenorrisiin eliittuurheilijoihin, mikä kertoo riittävän energiansaataavuuden tärkeydestä pitkällä aikavälillä (Heikura ym. 2018). Toisaalta kaikissa tutkimuksissa ei ole havaittu energiansaataavuuden ja rautastatuksen välistä yhteyttä. Koehlerin ym. (2012) tutkimuksessa ei havaittu eroja rautastatuksen ja energiankulutuksen, harjoituskäytön, harjoituksen keston, energiansaannin ja energiansaannin ja -kulutuksen suhteen eri rautastatusten omaavien ryhmien välillä.

Matalan energiansaataavuuden yleiset piirteet, kuten liian vähäinen energiansaanti sekä suuret harjoitusmäärät saattavat heikentää rautastatusta kahdella eri tavalla. Riittämätön päivittäinen energiansaanti voi johtaa siihen, ettei rautaa saa tarpeeksi ruokavaliosta (McKay ym. 2020).

Matalan energiansaataavuuden ja raudanpuutteen yhteyden yhdeksi selitykseksi onkin ehdotettu, etteivät urheilijat, joilla on matala energiansaataavuus ja energiavaje, saa täytetyksi päivittäistä raudantarvettaan. (Sim ym. 2019). Toisaalta taas suuret harjoitusmäärät altistavat suuremmalle raudanmenetykselle mm. hemolyysin, hikoilun, ruuansulatuselimistön verenvuodon sekä tulehdustekijöiden ja hepsidiinin nousseen määrän takia (McKay ym. 2020). Matala energiansaataavuus voi myös heikentää raudanimeytymistä riittämättömästä energiansaataavuudesta johtuvan alhaisen estrogeenituotannon kautta, mikä lisää hepsidiini-hormonin toimintaa ja voi siten heikentää raudan imeytymistä (Petkus ym. 2017). Nämä syyt saattavat osaltaan selittää matalasta energiansaataavuudesta kärsivien urheilijoiden suurta raudanpuutteen yleisyyttä (McKay ym. 2020). Yhteyden vastakkaiseen suuntaan on myös esitetty hypoteeseja. Alhaiset rautavarastot saattavat pahentaa matalaa energiansaataavuutta sekä sen fysiologisia ilmenemismerkkejä (Petkus 2017). Raudanpuutteessa urheilijan energiantuotannon tehokkuus saattaa heiketä, mikä lisää energiankulutusta ja siten mahdollisesti madaltaa energiansaataavuutta (McKay ym. 2020).

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän pro-gradu tutkielman tarkoituksena on selvittää raudanpuutteen yleisyyttä naisurheilijoilla sekä urheilulajien välisiä eroja raudanpuutteen yleisyydessä. Tarkoituksena on myös tarkastella, miten energiansaataavuus ja kuukautisstatus ovat yhteydessä rautastatukseen, ja selittäävätkö edellä mainitut tekijät sitä.

Tutkimuskysymys 1. Kuinka yleistä raudanpuute on kansallisen tai korkeamman tason naisurheilijoilla?

Hypoteesi ja perustelu. Naisurheilijoita pidetään riskissä raudanpuutteelle (Toivo ym. 2020). Naisurheilijoiden raudanpuutteen riskeihin vaikuttavat mm. raudanmenetys kuukautisten takia, riittämätön energian- ja raudansaanti ruuasta sekä raudan muoto ja raudan heikentynyt imeytyminen harjoittelun takia lisääntyneiden tulehdustekijöiden sekä hepsidiinin takia (McClung 2012). Raudanpuutteen yleisyys on vaihdellut eri tutkimusten välillä paikoin suurestikin, mutta useimmiten raudanpuutteen yleisyys on osunut n. 15–35 prosentin välille (Coates ym. 2016; DellaValle & Haas 2011; Hinrichs ym. 2010; Gropper ym. 2005; Parks ym. 2017; Mettler & Zimmermann 2010; Petkus ym. 2019; Di Santolo ym. 2008; Toivo ym. 2020). Alhainen hemoglobiini ja raudanpuuteanemia ei ole yhtä yleistä kuin ei-aneeminen raudanpuute (Coates ym. 2016; Parks ym. 2017; Di Santolo ym. 2008).

Tutkimuskysymys 2. Eroavatko tutkimukseen osallistuneet eri lajien urheilijat rautastatustaan?

Hypoteesi ja perustelu. Kestävyyslajien urheilijoilla esiintyy raudanpuutetta enemmän kuin muiden lajien urheilijoilla. Kestävyyslajien urheilijoita pidetään suuremmassa riskissä raudanpuutteelle johtuen riittämättömästä energiansaannista, raudan huonosta imeytymisestä ja lisääntyneestä raudanmenetyksestä johtuen (Hinton 2014). Kestävyysharjoittelulla on todettu olevan myös itsenäinen vaikutus rautastatukseen (Anschuetz ym. 2010). Kaikissa tutkimuksissa ei ole kuitenkaan löytynyt lajien välillä eroja (Gropper ym. 2005; Parks ym. 2017; Koehler ym. 2012)

Tutkimusongelma 3. Miten energiansaataavuus ja kuukautisstatus ovat yhteydessä rautastatukseen?

Hypoteesi ja perustelu. Matala energiansaataavuus ja kuukautisstatus saattavat olla yhteydessä rautastatukseen. Matalan energiansaataavuuden ja raudanpuutteen välillä on havaittu yhteys, ja matala energiansaataavuus saattaa heikentää rautastatusta (Petkus ym. 2017; McKay ym. 2020).

Kuukautisstatus ja kuukautisten pidempi kesto ja runsaus voivat selittää rautastatusta (Milman ym. 1998; McClung 2012; Petkus ym. 2017). Runsas ja pitkä kuukautisvuoto on yhteydessä suurempaan raudanpuutteen riskiin, minkä perusteella eumenorrisilla naisurheilijoilla saattaa ilmetä enemmän raudanpuutetta (Milman ym. 1998; Petkus ym. 2017). Kuukautisvuodon puuttuminen taas amenorrisilla naisilla saattaa suojata raudanpuutteelta (Petkus ym. 2017). Toisaalta taas amenorrisilla naisurheilijoilla voi ilmetä raudanpuutetta matalaan energiansaataavuuteen liittyvien tekijöiden seurauksena (McKay ym. 2020).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

5.1 Tutkimusaineisto ja -asetelma

Tässä pro gradu -tutkielmassa yhdistettiin aineistoa kolmesta eri tutkimuksesta. Tutkimusprojekteihin kuuluivat Urheilijoiden vammojen ja sairastavuuden monitorointitutkimus – monialaisen intervention käyttökelpoisuuden arviointi (MIIA) -tutkimus, Suomalaisten naislentopalloilijoiden fyysiset ominaisuudet ja niiden muutokset kauden erivaiheissa sekä kolmen vuoden aikana (VB-naiset) sekä Suhteellinen energianvaje urheilijoilla (NoREDS). Tutkimuksille oli saatu eettisen toimikunnan lausunnot Jyväskylän yliopiston (NoREDS 514/13.00.04.00/2021, VB-naiset 6/2020) tai Keski-Suomen sairaanhoitopiirin eettiseltä toimikunnalta (MIIA: 5U/2019).

Tutkimuksen aineisto on kerätty vuosina 2019–2022 ja tässä tutkielmassa on hyödynnetty aineistoa poikkileikkausasetelmana. Tutkittavien kehonkoostumus- ja verinäytemittaukset pyrittiin suorittamaan saman päivän aikana. Koehenkilöt saapuivat paastonneessa tilassa Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratorion tiloihin, jossa heille tehtiin kehonkoostumusmittaus ja heiltä otettiin paastoverinäyte. Näiden lisäksi he täyttivät LEAF-Q-kyselyn (Melin ym. 2014) sekä mittausten läheisyydessä haluamassaan ajankohdassa neljän päivän ajalta ruoka- ja harjoituspäiväkirjaa.

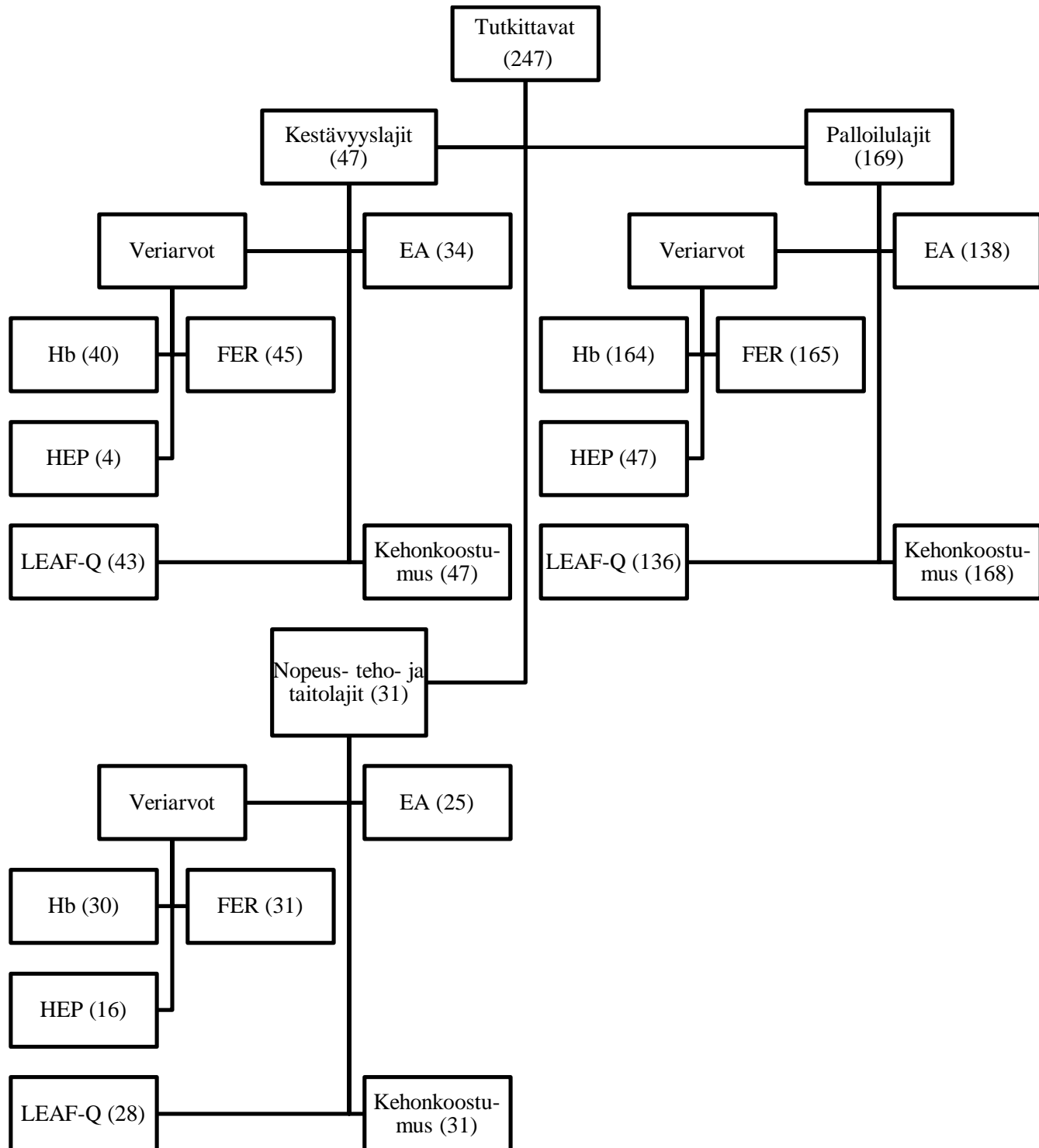
5.2 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin vähintään kansallisen tason naisurheilijoita seurojen ja maajoukkueiden kautta. Kaikki tutkittavat olivat 15–36-vuotiaita eri lajeja edustavia naisia. Tämän tutkielman aineistoon valikoitui yhteensä 247 urheilijaa kyseisistä tutkimuksista. Sisäänottokriteereitä olivat, että tutkittavien tuli olla vähintään kansallisen tason naisurheilijoita, kyseisten hankkeiden lajien edustajia ja yli 15-vuotiaita, eikä heillä saanut akuutteja vammoja tai hengitystieinfektioita, jotka estäisivät suorituskykytestien tekemisen. Tutkittavien keskuudessa kestävyyslajeista oli edustettuna kestävyysjuoksu, kävely, triathlon, suunnistus ja hiihto, palloilulajeista rugby, lentopallo, jalkapallo ja jääkiekko sekä nopeus, teho- ja taitolajeista yleisurheilusta 400 metrin aidat ja heittolajit, joukkuevoimistelu, mäkihyppy ja team gym. Ennen tutkimuksen alkua tutkittaville esiteltiin tutkimuksen ja mittausten kulku sekä niihin liittyvät riskit ja hyödyt. Tutkittavilta pyydettiin myös kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumisesta, ja heille teh-

tiin selväksi heidän oikeutensa keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa. MIIA-tutkimuksessa alaikäisiltä pyydettiin vanhemman allekirjoitus ja VB-naiset- ja NoREDS-tutkimuksissa alaikäisten vanhempia tiedotettiin tutkimuksista.

5.3 Tutkimusmuuttujat ja aineistonkeruu

Tämän tutkimuksen päämuuttujia olivat veren rauta-arvot, energiansaataavuus ja kuukautisstatus. Taustamuuttujia olivat ikä, pituus, paino, kehon painoindeksi, rasvaprosentti, rasva- ja lihasmassa sekä rasvaton massa. Kuvassa 8 on esitelty tutkittavien lukumäärät sekä tutkimusmuuttujat ryhmittäin.



KUVA 8. Tutkittavien lukumäärät ja tutkimusmuuttujat ryhmittäin. EA=energiansaataavuus, Hb=hemoglobiini, FER=ferritiini, HEP=hepsiidiini, LEAF-Q=matalaa energiansaataavuutta kartoittava kysely.

Taustamuuttujat. Kehonkoostumus määritettiin paastonneessa tilassa kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometrialla (DXA, dual-energy X-ray absorptiometry) Lunar Prodigy -laitteella

(GE Lunar Prodigy Advance, Madison, WI, USA). Kyseinen tapa on yleisesti käytössä ja validi kehonkoostumusmittauksiin (Nana ym. 2015; Schubert ym. 2019). Kyseinen laite on myös saanut hyvät variaatiokertoimet toistettavuustutkimuksissa (Kiezbak ym. 2000; Garthe ym. 2011). Mittaus suoritettiin alusvaatteisillaan ja mittausta ennen tutkittava poisti kaikki metalliesineet päältään, kuten korut ja kellot. Mittausta varten tutkittava meni selinmakuulle laitteen pöydälle keskilinjan kohdalle. Selkärangan suoruus varmistettiin vetämällä nilkoista, ja jalkapohjia vasten laitettiin styroksinen levy, jonka avulla jalkojen asento vakioitiin. Vartalon ja käsien väliin laitettiin pieniä tyynyjä, jotta ne pysyisivät mittauksen ajan erillään. Tutkittavaa ohjeistettiin pysymään liikkumatta mittauksen ajan. Kehonkoostumusmittauksesta tilastoitiin kehon paino (kg), rasvaprocentti (F%), rasvamassan määrä (FM), rasvattoman massan määrä (FFM) sekä arvioitu lihasmassan määrä (LM) kilogrammoina. Painoindeksi (BMI) laskettiin jakamalla tutkittavan paino (kg) pituuden neliöllä (m²). Mittauksen yhteydessä mitattiin myös tutkittavan pituus.

Verinäytteet. Tutkimukseen osallistuvilta otettiin laskimoverinäytteet yön yli kestäneen paaston jälkeen. Verinäytteiden otto ja analysointi toteutettiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriossa, ja niistä vastasi Jyväskylän yliopiston henkilöstö. Verinäytteistä analysoitiin hemoglobiini ja hematokriitti sekä ferritiini ja hepsidiini.

Hemoglobiinin määrittämiseen veri kerättiin EDTA-putkiin (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Austria), jotka analysoitiin saman tien Sysmex XP300 -analysaattorilla (SysmexCo., Kobe, Japan). Seerumin ferritiini ja hepsidiini taas kerättiin Vacuette-geeliseerumi-putkiin (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Austria). Putket sentrifugioitiin 10 minuutin ajan 3600 rpm:llä, jotta saatiin erotettua seerumi. Seerumi jäädytettiin -20 celsiusasteeseen.

Ferritiininäytteet analysoitiin Siemens Immulite 2000 XPI -analysaattorilla (Siemens Healthcare Lianberis, United Kingdom), jossa seerumin ferritiini määritettiin immunometrisellä kemiluminesenssillä (immunometric chemiluminescence). Laitteen määrittämisen sensitiivisyys ferritiinille oli 0.4µl ja tarkkuus (CV%) 4,84. Hepsidiini analysoitiin immunoanalyyysillä Dynex DX2-laitteella, jossa käytettiin Human Hepsidin Quantikine ELISA Kitiä (R&D Systems). Human Hepsidin Quantikine ELISA Kitin sensitiivisyys oli 3.81 pg/ml ja tarkkuus (CV%) oli 3,1–4,3 mittauksen sisäisissä määrittämissä ja 6,2–11 mittausten välisissä määrittämissä.

Hemoglobiinia ja ferritiiniä käytettiin rautastatuksen arvioimisessa. Raudanpuute määriteltiin tässä tutkielmassa $Hb < 120 \text{ g/l}$ WHO:n suositusten mukaisesti (WHO 2011). Ferritiinin mukaan määritetty raudanpuute taas määritettiin arvolle ferritiini $< 15 \mu\text{g/l}$, sillä se on yleisesti käytössä naisilla raudanpuutteen raja-arvona (Toivo ym. 2020).

Kuukautisstatus. LEAF-Q-lomakkeen (*low energy availability in females questionnaire*) suomenmennettua versiota käytettiin kuukautiskierron häiriöiden sekä runsaiden vuotojen kartoittamisessa (Kettunen 2018; Melin ym. 2014). Kysely on validi kuukautiskierron häiriöiden kartoittamisessa naisurheilijoilla. (Melin ym. 2014.) Kuukautisten määrittämiseen käytettiin kyselystä kahta eri kysymystä, joiden avulla määritettiin normaali ja epänormaali kuukautiskierto ("Onko sinulla normaali kuukautiskierto?" ja "Monetko kuukautiset sinulla on ollut viimeisen vuoden aikana?"). Ehkäisyvalmisteita käyttäviä tarkasteltiin omana ryhmänään.

Energiansaatavuus. Energiansaatavuus (EA) määritettiin energiansaannin ja energiankulutuksen avulla. Energiansaannin arvioinnissa käytettiin ruokapäiväkirjoja, joita tutkittavat täyttivät neljän peräkkäisen päivän ajalta. Ruokapäiväkirjan täyttö on kohtuullisen luotettava menetelmä arvioitaessa urheilijan energiansaantia, mutta ne saattavat kuitenkin antaa todellisuutta pienemmän arvion urheilijoiden energiansaannista johtuen ruokien epätarkasta ylös kirjaamisesta, aliraportoinnista ja tutkimusjakson aikana tapahtuvasta mahdollisesta tahallisesti tai tahattomasti vähemmästä energiansaannista. (Magkos & Yannakoulia 2003.) Tutkittavat saivat tarkat ohjeet päiväkirjojen täyttöä varten. Ruokapäiväkirjaan merkattiin mahdollisimman tarkasti syödyt ruoka-aineet ja niiden määrät sekä ruokailujen ajankohdat. Tutkittavien täyttämistä ruokapäiväkirjoista otettiin tiedot ruoka-aineista ja -määristä, ja ne syötettiin Terveystietokeskuksen ylläpitämään elintarvikkeiden kansalliseen koostumustietopankkiin Fineliin (fineli.fi), joka määrittää päivittäisen energiansaannin sekä ravintoainejakauman.

Energiankulutus arvioitiin Cunninghamin (1980) kaavalla määritetyn lepoenergiankulutuksen ja harjoituspäiväkirjojen avulla lisäämällä harjoittelun aiheuttama energiankulutus (EEE) lepoenergiankulutukseen (REE). Lepoenergiankulutuksen määrittämiseen käytettiin Thomasin ym. (2016) suosittamaa Cunninghamin (1980) kaavaa, jossa $REE \text{ (kcal/vrk)} = (500 + FFM \times 22) \text{ kcal/vrk}$. Harjoituspäiväkirjaan täytettiin seurantajakson aikana tehdyt harjoitukset sekä niiden kesto ja koettu rankkuus RPE-asteikolla (rate of perceived exertion) 1–10 (Borg 1998). Harjoittelun aiheuttama energiankulutus arvioitiin Ainsworthin ym. (2011) tekemien MET-taulukoiden avulla. MET-arvo kertoo, kuinka moninkertainen kulutus on verrattuna lepoener-

giansaantavuuteen. Harjoituksen aikaansaaman energiankulutuksen laskemiseen käytettiin kaavaa: $REE \times t / 24 \times MET - REE \times t / 24$, jossa REE on Cunninghamin (1980) kaavalla määritetty lepoenergiankulutus, t harjoituksen kesto tunteina ja MET Ainsworthin ym. (2011) taulukosta johdettu lepoenergiankulutuksen tietynkertainen arvo.

Energiansaantavuus määritettiin vähentämällä harjoittelun aikaansaama energiankulutus energiansaannista ja jakamalla erotus tutkittavan rasvattomalla massalla (FFM). Matala energiansaantavuus määritettiin alle 30 kcal/kg (FFM)/päivä (Loucks ym. 2011; Heikura 2021, 17.)

5.4 Tilastolliset menetelmät

Tutkielman tulokset esitetään muodossa keskiarvo \pm keskihajonta sekä kategoristen muuttujien kohdalla prosenttiosuuksina. Tutkimusaineiston tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics 26 -ohjelmalla (Armonk, New York, USA).

Koko aineiston, kolmen pääryhmän muuttujien normaalijakautuneisuuden ja vinouden ja huipukkuuden tarkasteluun käytettiin Kolmogorov-Smirnovin sekä Shapiro-Wilkin testiä riippuen otoskoosta. Ryhmien välisessä vertailussa käytettiin yksisuuntaista varianssianalyysia (One-way ANOVA, SPSS). Kategoristen muuttujien kohdalla ryhmien välisessä vertailussa käytettiin Khiin neliö- testiä. Muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltaessa käytettiin Spearmanin korrelaatiokerrointa. Kuukautisstatuksen mukaan jaetuissa ryhmissä tarkasteltiin ryhmien välisiä eroja riippumattomien muuttujien suhteen Kruskal-Wallis-testillä. Energiansaantavuuden, kuukautisstatuksen ja rautastatusten välisiä yhteyksiä tarkasteltiin aluksi Spearmanin korrelaatiokertoimella, ja jos yhteyksiä havaittiin, tarkasteltiin niitä tarkemmin regressioanalyysillä.

6 TULOKSET

Kestävyysurheilijat olivat keskiarvoisesti vanhimpia ja painoivat vähemmän kuin palloilijat. Heillä oli myös alhaisempi rasvaprosentti ja BMI sekä pienempi rasvamassa muihin ryhmiin verrattuna. Nopeus- teho- ja taitolajien urheilijat olivat lyhyempiä kestävyysurheilijoihin ja palloilijoihin verrattuna. Palloilijat taas olivat merkitsevästi painavampia kuin muut ryhmät. Rasvatomassa massassa ja lihasmassassa ei ollut ryhmien välillä suurta eroa. Taulukossa 4 on kuvattu tutkittavien perustiedot.

TAULUKKO 4. Tutkittavien perustiedot lajiryhmittäin (keskiarvo \pm keskihajonta).

	K (47)	P (169)	N (31)	kaikki (247)
Ikä (vuotta)	24,4 \pm 4,5 ^{**a}	20,9 \pm 4,5 ^{**}	21,0 \pm 3,5 ^a	21,5 \pm 4,6
Pituus (cm)	170,0 \pm 5,5 ^a	171,0 \pm 7,6 ^{bb}	166,1 \pm 5,7 ^{abb}	170,2 \pm 7,2
Paino (kg)	60,5 \pm 5,3 ^{**}	68,7 \pm 8,9 ^{**bb}	62,8 \pm 7,1 ^{bb}	66,4 \pm 8,8
Rasvamassa (kg)	9,6 \pm 3,3 ^{**}	17,4 \pm 5,3 ^{**b}	14,5 \pm 5,5 ^{aab}	15,6 \pm 5,9
Rasvaton massa (kg)	51,2 \pm 4,2	50,7 \pm 5,7	48,5 \pm 5,4	50,5 \pm 5,4
Lihasmassa (kg)	48,5 \pm 4,0	47,7 \pm 5,4	45,7 \pm 5,1	47,6 \pm 5,2
Rasvaprosentti (%)	15,7 \pm 4,7 ^{**aa}	25,0 \pm 5,6 ^{**}	22,7 \pm 6,8 ^{aa}	23,0 \pm 6,6
BMI (kg/m ²)	20,9 \pm 1,6 ^{**a}	23,5 \pm 2,5 ^{**}	22,8 \pm 2,4 ^a	22,9 \pm 2,5

K, kestävyyslajit; P, palloilulajit; N, nopeus-, teho- ja taitolajit, sulkeissa otoskoko; *tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja P välillä, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,001$; ^a tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja N välillä, $p \leq 0,05$; ^{aa} $p \leq 0,001$; ^b tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien P ja N välillä, $p \leq 0,05$; ^{bb} $p \leq 0,001$.

6.1 Raudanpuutteen yleisyys

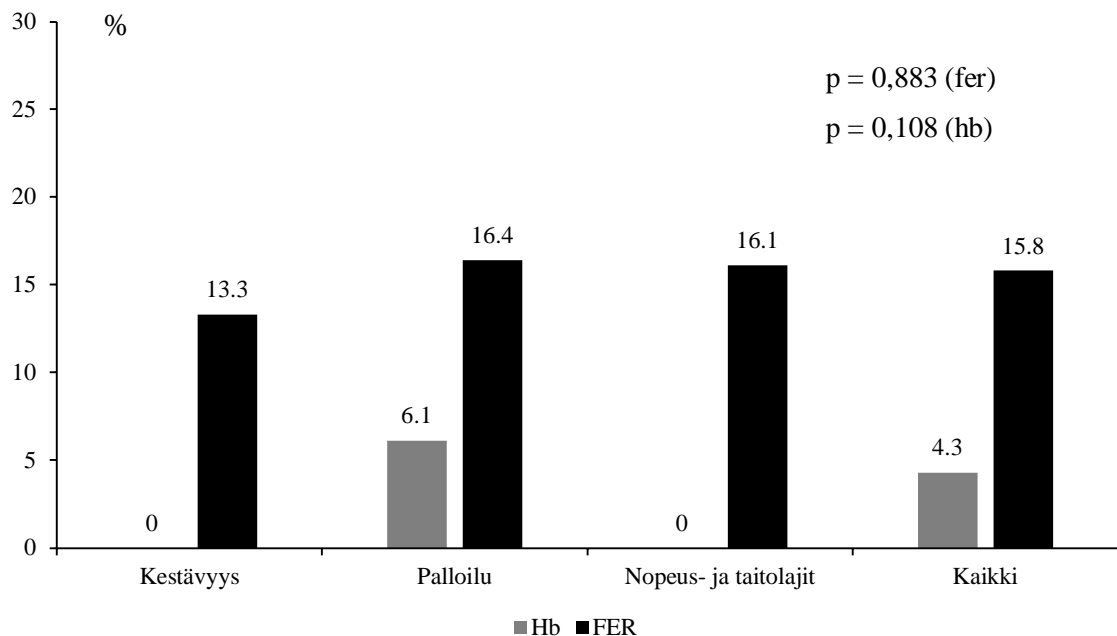
Taulukossa 5 on esitetty naisurheilijoiden rauta-arvot. Palloilijoilla oli merkitsevästi matalampi hemoglobiini molempiin ryhmiin verrattuna. Kestävyys- ja palloiluryhmän välillä havaittiin eroja myös muissa rautastatuksen markkereissa. Hemoglobiini ja ferritiini olivat merkitsevästi korkeampia kestävyyslajien urheilijoilla kuin palloilijoilla.

TAULUKKO 5. Tutkittavien rauta-arvot lajiryhmittäin (keskiarvo ± keskihajonta).

	K (47)	P (169)	N (31)	kaikki (247)
Hemoglobiini (g/l)	137 ± 8*	132 ± 8* ^b	136 ± 6 ^b	134 ± 8
Ferritiini (µg/l)	48,7 ± 30,2*	36,9 ± 25,5*	46,0 ± 33,5	40,3 ± 27,9
Hepsidiini (µg/l)	14,5 ± 6,5	8,1 ± 7,5	5,6 ± 4,8	7,9 ± 7,1

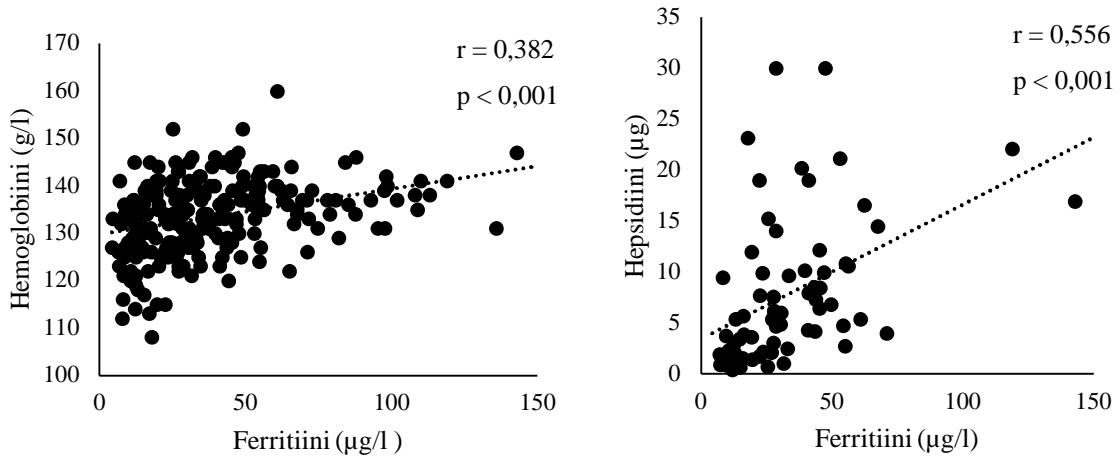
K, kestävyyslajit; P, palloilulajit; N, nopeus-, teho- ja taitolajit, sulkeissa otoskoko; *tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja P välillä, $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,001$; ^a tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja N välillä; $p \leq 0,05$; ^{aa} $p \leq 0,001$; ^b tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien P ja N välillä, $p \leq 0,05$; ^{bb} $p \leq 0,001$.

Kaikista naisurheilijoista 4,3 prosentilla hemoglobiini oli alle 120 g/l ja 15,8 prosentilla ferritiini oli alle 15 µg/l. Kestävyysurheilijoista ei kenelläkään ollut alhaista hemoglobiinia, mutta 13,3 prosentilla oli alhainen ferritiini. Palloilijoista 6,1 prosentilla hemoglobiini oli alle viitearvojen ja 16,4 prosentilla oli alhainen ferritiini. Nopeus-, teho- ja taitolajeista kenelläkään ei ollut alhaista hemoglobiinia, mutta alhainen ferritiini oli 16,1 prosentilla urheilijoista. Raudanpuutteen yleisyyden erot lajiryhmien välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. (KUVA 9.)

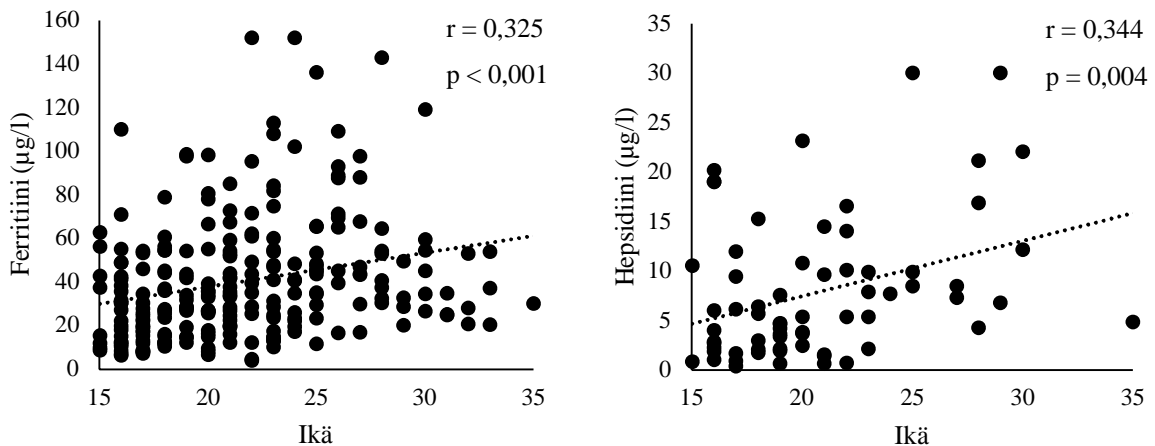


KUVA 9. Raudanpuutteen yleisyys eri lajiryhmillä hemoglobiinin sekä ferritiinin mukaan. Hb=hemoglobiini, fer=ferritiini

Koko ryhmän analyyseissa ferritiini korreloi hemoglobiinin ($r=0,382$, $p<0,001$) ja hepsidiinin kanssa ($r=0,556$, $p<0,001$) (kuva 10). Ferritiini ja hepsidiini korreloivat positiivisesti iän kanssa ($r = 0,325$, $p<0,001$; $r = 0,344$, $p = 0,004$) (kuva 11).



KUVA 10. Hemoglobiinin ja hepsidiinin yhteydet ferritiiniin.

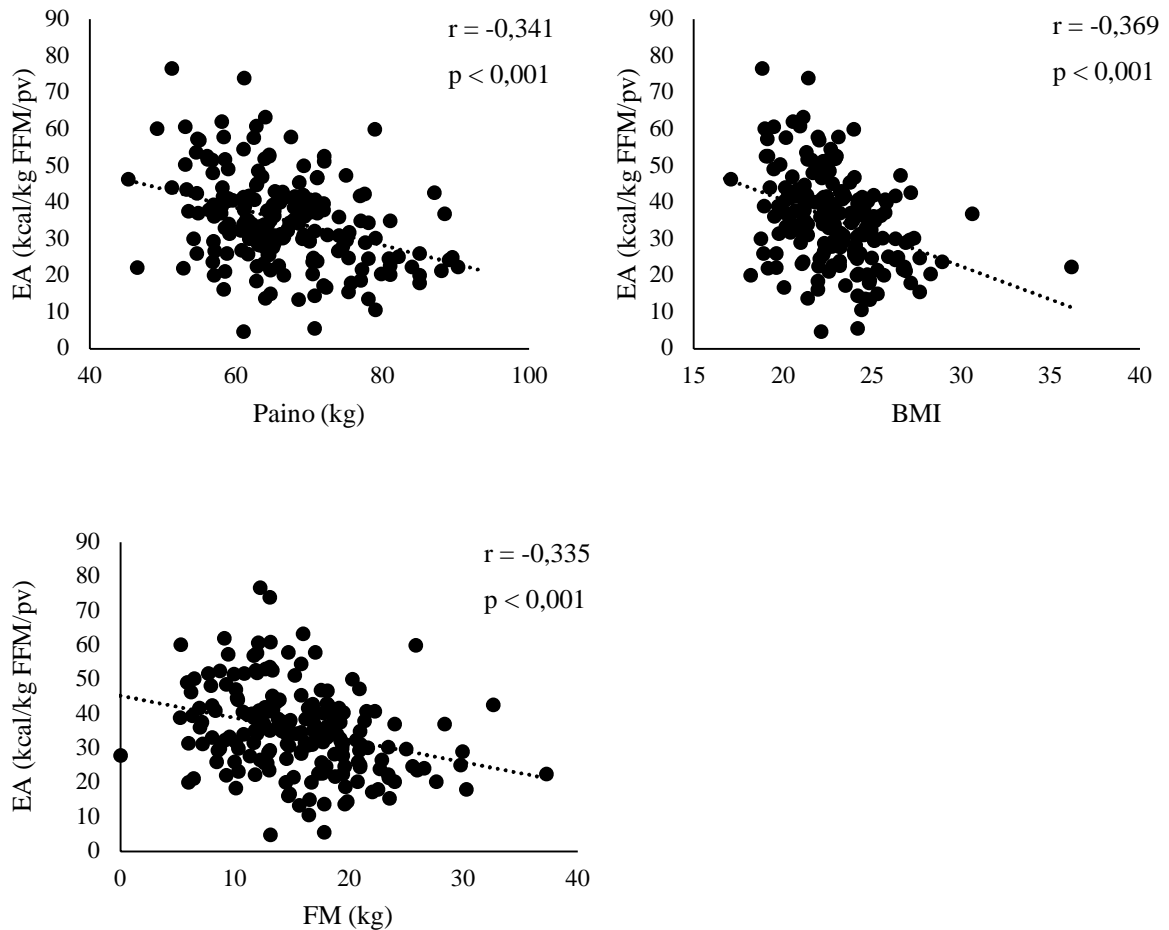


KUVA 11. Ferritiinin ja hepsidiinin yhteydet ikään.

6.2 Energiensaataavuus ja kuukautiskierron muuttujat

Matalaa energiensaataavuutta havaittiin 33,5 prosentilla naisurheilijoista. Nopeus-, teho- ja taitolajien urheilijoilla havaittiin prosentuaalisesti eniten matalaa energiensaataavuutta. Keskiarvoisesti matalin energiensaataavuus oli kuitenkin palloiluryhmällä. Kestävyyсурheilijoilla oli keskiarvoisesti korkein energiensaataavuus sekä prosentuaalisesti vähiten matalaa energiensaataavuutta. Ryhmien välillä ei kuitenkaan löytynyt merkitseviä eroja energiensaataavuudessa. Myöskään matalassa energiensaataavuuden (<30 kcal/kg FFM/pv) esiintyvyydessä ei löytynyt

merkitseviä eroja ryhmien välillä. Koko ryhmän tarkastelussa energiansaatavuus oli negatiivisesti yhteydessä painoon ($r = -0,341$, $p < 0,001$), BMI:in ($r = -0,369$, $p < 0,001$) ja rasvamasaan ($r = -0,335$, $p < 0,001$) (kuva 12).



KUVA 12. Energiansaatavuuden yhteydet painoon, BMI:in ja rasvamasaan (FM).

Khiin neliö -testin mukaan ilmoitetuissa runsaissa vuodoissa löytyi eroa eri ryhmien välillä ($\chi^2(2) = 10,854$; $p = 0,005$). Kestävyyssryhmästä raportoitiin merkitsevästi vähemmän runsaita vuotoja verrattuna kahteen muuhun lajiryhmään. Kuukautisstatuksesta löytyi merkitseviä eroja ryhmien välillä Khiin neliö -testin mukaan ($\chi^2(2) = 16,494$; $p = 0,012$). Normaalin vuodon, hormonaalisen ehkäisyn ja oligomenorrean määrissä ei ollut eroja eri lajiryhmien kesken. Amenorreaa havaittiin kuitenkin kestävyyssryhmällä merkitsevästi enemmän kuin palloiluryhmällä. Taulukossa 6 on esitetty energiansaatavuuteen ja kiertomuuttujiin liittyvät tulokset.

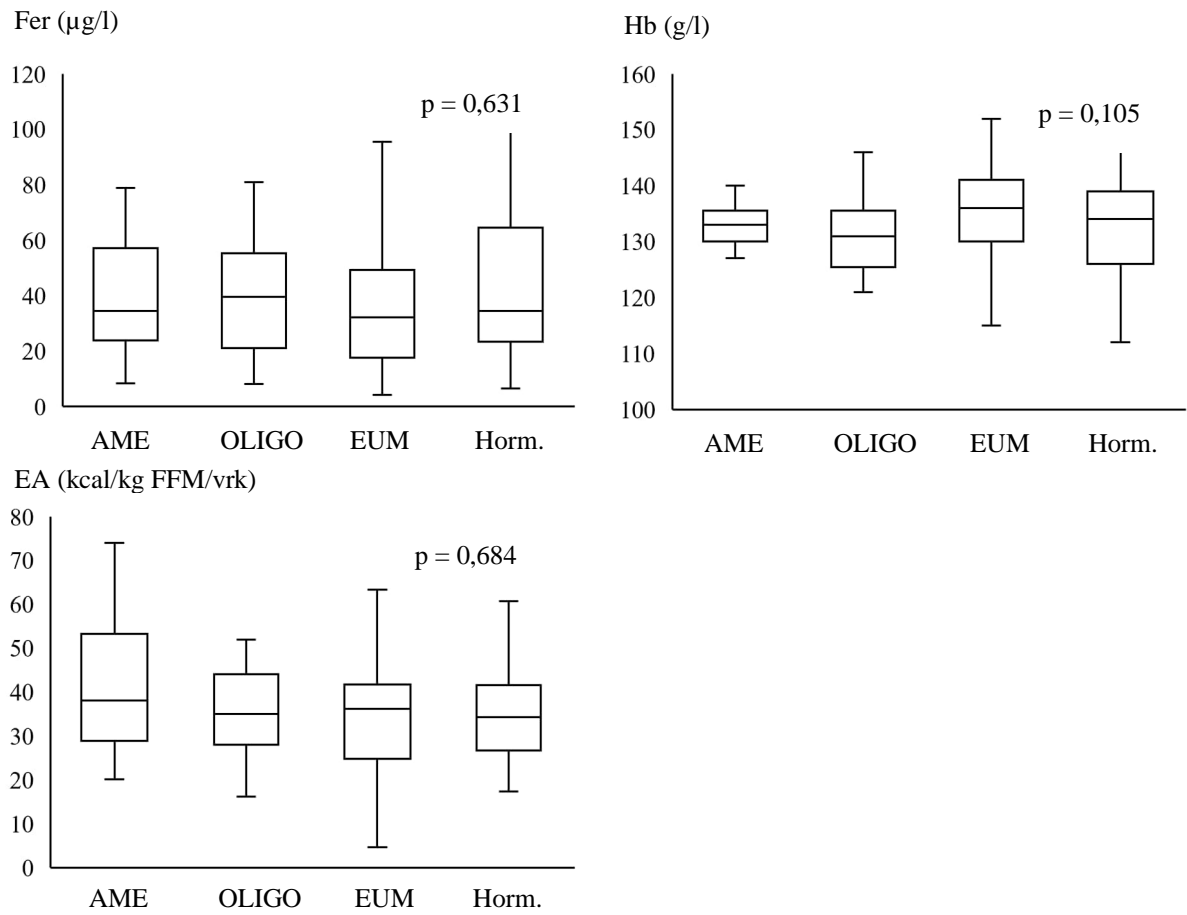
TAULUKKO 6. Energiensaataavuuden keskiarvot ja keskihajonnat lajiryhmittäin sekä ryhmien välisten erojen tilastollinen merkitsevyys, sekä kuukautisstatuksen prosentuaaliset osuudet.

	K (47)	P (169)	N (31)	kaikki (247)
EA (kcal/kg FFM/vrk)	41,0 ± 12,4	33,8 ± 11,8	35,1 ± 13,4	35,2 ± 12,3
LEA (<30 kcal/kg FFM/vrk) (%)	17,6 %	36,2 %	40,0 %	33,5 %
Runsat vuodot (n=140)	41,7 % ^{aa}	82,9 % [*]	78,3 % ^a	78,6 %
Amenorrea	18,6 % [*]	2,9 % [*]	10,3 %	7,2 %
Oligomenorrea	11,6 %	6,6 %	13,8 %	8,7 %
Eumenorrea	41,9 %	46,3 %	34,5 %	43,8 %
Hormonaalinen ehkäisy	27,9 %	44,1 %	41,4 %	40,4 %

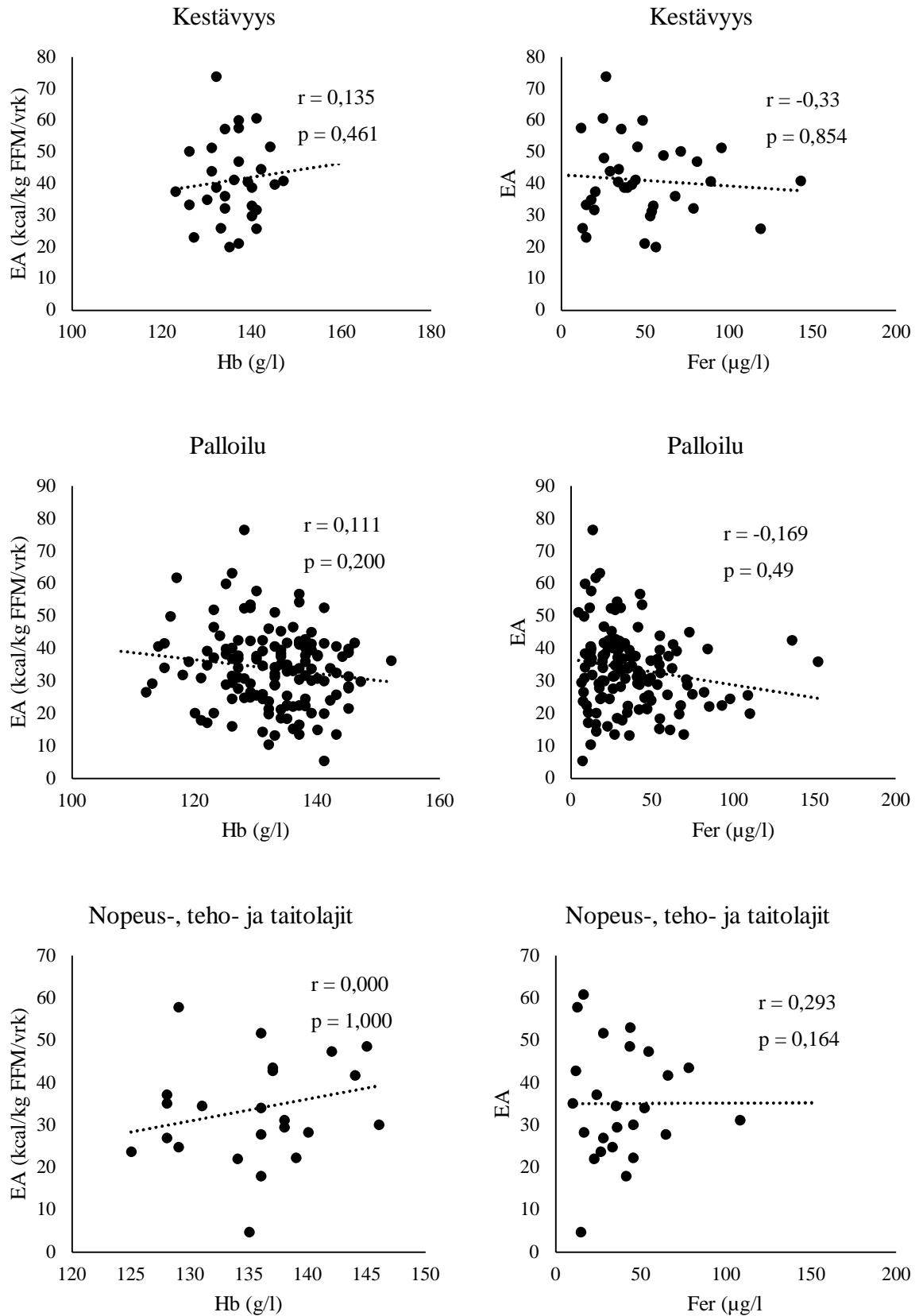
K, kestävyyslajit; P, palloilulajit; N, nopeus-, teho- ja taitolajit, sulkeissa otoskoko; ^{*}tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja P välillä, $p \leq 0,05$; ^{**} $p \leq 0,001$; ^a tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien K ja N välillä; $p \leq 0,05$; ^{aa} $p \leq 0,001$; ^b tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien P ja N välillä, $p \leq 0,05$; ^{bb} $p \leq 0,001$.

6.3 Energiensaataavuuden ja kuukautisstatuksen yhteydet rautastatukseen

Kuukautisstatuksen mukaan jaetuissa ryhmissä amenorriin, oligomenorriin, normaaliin kuukautiskiertoon ja hormonaalista ehkäisyä käyttäviin ei löytynyt merkitseviä eroja ryhmien välillä rautastatukseen tai energiensaataavuuden suhteen (kuva 13). Koko ryhmän tarkastelussa energiensaataavuus ei ollut myöskään yhteydessä mihinkään rautastatukseen markkeriin. Myöskään lajiryhmittäin tehdyissä analyyseissa energiensaataavuus ei korreloinut rautastatukseen kanssa (kuva 14). Energiensaataavuus ja kuukautisstatus eivät siis selittäneet rautastatusta.



KUVA 13. Ferritiini, hemoglobiini ja energiansaatavuus kuukautisstatuksen mukaan jaetuissa ryhmissä (AME=amenorrea, OLIGO=oligomenorrea, EUM=eumenorrea, normaali kuukautiskierto, Horm.=hormonaalinen ehkäisy).



KUVA 14. Energiansaataavuuden yhteydet rautastatukseen lajiryhmittäin. Hb=hemoglobiini, Fer=ferritiini, EA=energiansaataavuus.

7 POHDINTA

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää raudanpuutteen yleisyyttä naisurheilijoilla sekä urheilulajien välisiä eroja raudanpuutteen yleisyydessä. Tarkoituksena oli myös tarkastella, miten energiansaataavuus ja kuukautisstatus ovat yhteydessä rautastatukseen, ja selittävätkö edellä mainitut tekijät sitä. Alhainen hemoglobiini (<120 g/l) havaittiin alle viidellä prosentilla kaikista urheilijoista, joista kaikki olivat palloilijoita. Alentuneet rautavarastot taas havaittiin miltei 16 prosentilla kaikista urheilijoista. Rautastatuksen ja kuukautisstatuksen ja rautastatuksen ja energiansaataavuuden väliltä ei löytynyt yhteyttä, eli kuukautisstatus ja energiansaataavuus eivät selittäneet rautastatusta.

7.1 Raudanpuutteen yleisyys ja lajien väliset erot

Kaikista naisurheilijoista 4,2 prosentilla havaittiin alhainen hemoglobiini (<120 g/l) ja 15,8 prosentilla alentuneet rautavarastot (ferritiini<15 µg/l). Aikaisemmissa tutkimuksissa alhainen hemoglobiini on havaittu 6–10 prosentilla naisurheilijoista (Coates ym. 2016; DellaValle & Haas 2011; Sandström ym. 2012; Di Santolon ym. 2008; Koehler ym. 2012; Toivo ym. 2020). Tässä tutkielmassa havaittiin siis vähemmän alhaista hemoglobiinia aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna. Alentuneita rautavarastoja on havaittu aikaisemmissa samaa ferritiinin raja-arvoa käyttäneissä tutkimuksissa 15–29 prosentilla naisurheilijoista (Coates ym. 2016; Gropper ym. 2005; Mettler & Zimmermann 2010; Petkus ym. 2019; Toivo ym. 2020), mihin haarukkaan myös tämän tutkielman havainnot osuvat. Kokonaisuudessaan tämän tutkielman raudanpuutteen yleisyys on hieman pienempää verraten aikaisempiin tutkimuksiin. Tässä tutkielmassa käytettyjen aikaisempien tutkimusten eri lajeja, eri lajien urheilijoiden määriä ja tasoa ei ole huomioitu, joten eri lajit ja niiden eri kokoiset osuudet voivat osaltaan selittää eroa. Raudanpuutteen yleisyydessä on kuitenkin tutkimusten välillä paikoin suurtakin vaihtelevuutta, joten isommassa kuvassa nämä tulokset ovat linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Eri lajien urheilijoiden välillä sekä saman lajin sisällä rautatasot saattavat vaihdella suurestikin, ja rautastatus vaikuttaakin olevan melko yksilöllinen tila ottaen huomioon, miten moni tekijä siihen vaikuttaa (McClung ym. 2014). Suureen vaihteluväliin voi vaikuttaa myös tutkimuksissa käytetyt erilaiset viitearvot, joista ferritiinin alaraja vaihteli 12–30 µg/l välillä. Osasta tutkimuksista on myös suljettu ulos raudanpuuteanemiasta kärsivät (Auersperger ym. 2012 & 2013), sekä jälkimmäisessä myös, jos ferritiini on ollut alle 10 µg/l.

Kestävyyslajien ja nopeus-, teho- ja taitolajien urheilijoiden ryhmissä ei havaittu ollenkaan alhaista hemoglobiinia, vaikka aikaisemman tutkimustiedon perusteella kestävyyslajien urheilijoita pidetään suuremmissa raudanpuutteen riskissä (Hinton 2014; Alaunyte 2015; Anschuetz ym. 2010). Kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu eroja eri lajien urheilijoiden välillä (Gropper ym. 2005; Parks ym. 2017). Paloilijoiden ryhmä oli ainoa lajiryhmä, jossa havaittiin kliinisen raja-arvon alittavia hemoglobiiniarvoja (<120 g/l). Kaikissa lajiryhmissä ilmeni kuitenkin alentuneita rautavarastoja. Kestävyysryhmän urheilijoilta alentuneita rautavarastoja havaittiin prosentuaalisesti vähiten, ja heillä oli myös keskiarvoisesti korkeimmat ferritiiniarvot. Paloilijoilla taas havaittiin prosentuaalisesti eniten alentuneita rautavarastoja ja heidän ferritiiniarvonsa olivat myös matalimmat lajiryhmistä. Erot paloilijoiden ja kestävyysurheilijoiden rauta-arvoissa olivat myös tilastollisesti merkitseviä, eli kestävyysurheilijoiden rauta-arvot olivat merkitsevästi parempia kuin paloilijoiden. Tämä havainto on ristiriidassa aikaisemman tutkimustiedon kanssa. Toisaalta kestävyyslajien ravitsemukseen ja rauta-arvoihin on voitu osata kiinnittää paremmin huomiota, kun on ollut jo yleisesti tiedossa kestävyyslajien urheilijoiden riski raudanpuutteeseen. Urheilijat ja heidän valmentajansa ovat voineet osata kiinnittää huomiota riittävään raudansaantiin ja mahdollisesti myös rautalisien käyttöön. Rautalisien käyttöä ei tässä aineistossa huomioitu, joten ei ole tiedossa, kuinka suurella osalla urheilijoista on ollut käytössä rautalisä. Paloilijat ovat voineet jäädä hieman katveeseen raudanpuutteen riskin tarkastelussa, kun aikaisempi tutkimus ei ole nostanut heitä erityiseen riskiryhmään. Heidän harjoitusmääränsä ja -intensiteettinsä voi kuitenkin olla samaa tai suurempaa luokkaa kestävyysurheilijoiden kanssa, mikä voi altistaa heidätkin suuremmalle raudanpuutteen riskille liittyen harjoittelun aiheuttamaan tulehdustilaan ja heikompaan raudanimeytymiseen (McClung ym. 2014). Heidän ruokavalionsa ei välttämättä myöskään ole osattu kiinnittää tarpeeksi huomiota riittävän raudansaannin suhteen. Paloilijat olivat myös raportoineet eniten runsaita vuotoja, mikä voi osaltaan vaikuttaa raudanpuutteen suurempaan määrään, sillä runsaat ja pitkät kuukautiset kasvattavat todennäköisyyttä alhaisemmille rautatasoille (Milman ym. 1998).

Urheilijoiden iän ja ferritiiniin välillä havaittiin samansuuntainen yhteys, eli mitä vanhempi urheilija oli, sitä korkeammat ferritiiniarvot hänellä oli. Tämän havainnon perusteella nuoret naisurheilijat olisivat siis suuremmissa riskissä raudanpuutteelle vanhempiin verrattuna. Raudanpuutteen yleisyydessä saattaa olla eroja nuorten urheilijoiden sekä aikuisten välillä, mutta tutkimuksissa on melko paljon eroja, joten asiaa ei voi sanoa varmaksi. Toivon ym. (2020) ja Di Santolon ym. (2018) tutkimuksessa havaittiin raudanpuutetta miltei neljäsosalla urheilua

harrastavilta nuorilta. Kyseessä ei kuitenkaan ollut eliittitason urheilijat, toisin kuin Sandströmin ym. (2012) tutkimuksessa, jossa raudanpuutetta todettiin noin puolella lukioikäisistä eliittitason urheilijoista. Koehlerin ym. (2012) tutkimuksessa nuorilla eliittitason urheilijoilla raudanpuutetta taas havaittiin vain seitsemällä prosentilla, kun raudanpuutteen raja-arvona pidettiin $<12 \mu\text{g/l}$ ferritiinitasoa. Aikuisurheilijoilla ja -liikkujilla raudanpuutteen yleisyys on vaihdellut tutkimuksissa seitsemästä prosentista 50 prosenttiin. Keskiarvoisesti raudanpuutetta on havaittu noin 24 prosentilla, mikä on keskiarvoisesti samaa tasoa nuorten kanssa. Kuten aiemmin jo todettiin, raudanpuutteen raja-arvot vaikuttavat myös tutkimuksissa havaittuun raudanpuutteen yleisyyteen, mistä syystä kaikkia tutkimuksia ei voi suoraan verrata toisiinsa. Raudanpuutteen riskin eroja voi siis selittää ikä, mutta toisaalta erot saattavat selittyä myös millä tasolla ja kuinka paljon urheilua harrastaa. Nuoren urheilijan kasvaessa ja siirtyessä eliittitasolle, myös harjoitusmäärät tulevat todennäköisesti kasvamaan, mikä saattaa lisätä raudanpuutteen riskiä. Tässä tutkielmassa ei tarkastelu harjoitusmääriä, joten suoria johtopäätöksiä harjoittelun vaikutuksesta rautastatukseen ei tässä tutkielmassa voida tehdä. Nuoret urheilijat eivät välttämättä myöskään tiedosta ravitsemuksen tärkeyttä tai tiedä mitkä ovat hyviä raudanlähteitä, eivätkä siten välttämättä osaa kiinnittää huomiota riittävään raudansaantiin ruokavaliosta. Ruokavaliion laatu ja harjoitusmäärät saattavat siis osaltaan selittää tässä tutkielmassa havaittua iän ja ferritiinin välistä yhteyttä.

7.2 Energiansaataavuus, kehonkoostumus ja kuukautisstatus

Keskiarvoisesti urheilijoiden energiansaataavuus oli 35 kcal/kg FFM/vrk, mikä on yli matalan energiansaataavuuden rajan. Energiansaataavuus jäi kuitenkin keskiarvoisesti alle energiansaataavuuden optimaalisen tason ($<45 \text{ kcal/kg FFM/vrk}$) (Loucks ym. 2011), mikä ei takaa urheilijoiden optimaalista kehitystä, mistä syystä naisurheilijat voisivatkin hyötyä pienestä päivittäisen energiansaannin lisäyksestä (Heikura 2021, 17). Kaikista urheilijoista noin kolmasosalla havaittiin matalaa energiansaataavuutta alle 30 kcal/kg FFM/vrk). Aiemmissa tutkimuksissa matalan energiansaataavuuden yleisyys vaihtelee noin 20 ja 60 prosentin välillä (Logue ym. 2020), mikä on linjassa tämänkin tutkielman havaintojen kanssa. Voidaankin todeta, että alhainen energiansaataavuus on tämän tutkielman sekä aikaisempien tutkimusten perusteella yleistä.

Matalaa energiansaataavuutta esiintyi eniten nopeus-, teho- ja taitolajien urheilijoiden sekä palloilijoiden ryhmällä. Palloilijoiden ryhmällä oli keskiarvoisesti matalin energiansaataavuus. Kestävyysurheilijoiden ryhmällä oli keskiarvoisesti korkein energiansaataavuus sekä havaittiin vähiten matalaa energiansaataavuutta. Erot ryhmien välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti

merkitseviä. Riittämätön energiansaataavuus voi johtua tahattomasta tai tahallisesta energiavajeesta (Nattiv ym. 2007; Loucks ym. 2011). Vähintään kansallisen tason urheilijoilla harjoitusmäärät ovat suuret, mikä voi altistaa tahattomalle energiavajeelle, sillä harjoittelusta aiheutuva energiavaje ei lisää nälkää samalla tavalla kuin energiansaannin vähentämisestä johtuva energiavaje (Hubert ym. 1998; King 1997). Palloilijoillakin voi harjoitusmäärät olla suuret ja kulutus korkeaa, eivätkä he välttämättä saa kompensoitua kulutusta energiansaannilla. Lajit, joissa korostetaan hoikkaa vartaloa, kuten esteettisissä lajeissa, sekä lajit, joissa on suuri tehopainosuhte, esimerkiksi hyppylajit, ovat painosensitiivisiä lajeja saattavat toimia riskitekijöinä häiriintyneelle syömiskäyttäytymiselle, mikä voi altistaa riittämättömälle energiansaannille ja sitä kautta matalalle energiansaataavuudelle (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010; Sundgot-Borgen ym. 2013). Nopeus-, teho- ja taitolajeista oli tässä tutkielmassa edustettuna mm. mäkihyppy, joukkuevoimistelu ja team gym, jotka kaikki ovat joko hyppylajeja tai esteettisiä lajeja. Toisaalta palloiluryhmästä lentopallo voidaan myös osittain laskea painosensitiiviseksi lajiksi, mikä voi omalta osaltaan selittää palloilijoiden matalampaa energiansaataavuutta (Sundgot-Borgen ym. 2013). Nämä lajikohtaiset tekijät saattavat lisätä häiriintyneen syömiskäyttäytymisen riskiä ja näin ollen altistaa matalalle energiansaataavuudelle ja voivat omalta osaltaan selittää tässä tutkielmassa havaittua yleisempää matalan energiansaataavuuden ilmenemistä nopeus-, teho- ja taitolajien keskuudessa, sekä palloilijoilla.

Kestävyyslajien urheilijoiden keskuudessa havaittiin vähiten matalaa energiansaataavuutta ja heidän energiansaataavuutensa oli keskiarvoisesti riittävin näistä lajiryhmistä, vaikka myös kestävyyslajeissa saattaa olla hyötyä pienemmästä kehonpainosta (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010), ja esimerkiksi kestävyys- ja maastojuoksu ovat painosensitiivisiä lajeja (Sundgot-Borgen ym. 2013). Kestävyyslajeissa on myös hyvin pitkät harjoitusajat ja -määrät, mikä myös altistaa matalalle energiansaataavuudelle (Nattiv ym. 2007). Myös lajeissa, joissa aerodynamiikka on tärkeässä roolissa, hyötyvät urheilijat lajille suotuisammasta lihas-rasvamassasuhteesta kehonkoostumuksessa (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010), mikä voi toimia altistavana tekijänä matalalle energiansaataavuudelle. Näihin lajeihin kuuluu tässä tutkielmassakin esiintyviä kestävyyslajeja kuten juoksu, kävely, triathlon ja hiihto. Kestävyysurheilijoiden paino, rasvamassa, rasvaprosentti ja BMI olivatkin pienempiä palloilijoihin ja nopeus-, teho- ja taitolajien urheilijoihin verrattuna, mikä kuvastaa myös lajivaatimuksia (O'Connor ym. 2007). Toisaalta hiihtäjät voivat myös hyötyä massasta (Bergh & Forsberg 1992). Kestävyyslajien urheilijoiden ravitsemukseen on voitu osata kiinnittää paremmin huomiota, kun aikaisemman tutkimustiedon valossa lajin vaatimukset voivat altistaa matalalle energiansaataavuudelle, ja tästä syystä tässä

tutkimuksessa kestävyysurheilijoiden energiansaataavuus olikin parhaimmalla tasolla. Kun kestävyysurheilijat ovat jo omalle lajilleen suotuisassa painossa ja kehonkoostumuksessa, ja pyrkivätkin he nyt pitämään energiansaataavuuden optimaalisemmalla tasolla kehitystä varten.

Mielenkiintoinen havainto olikin, että koko ryhmän tarkastelussa energiansaataavuus oli negatiivisesti yhteydessä painoon, BMI:in ja rasvamassaan, jolloin trendi olisi, että mitä suurempi energiansaataavuus, sitä pienempi paino. Havaittu yhteys näkyy palloilijoiden ryhmässä siten, että heillä oli energiansaataavuus alhaisinta muihin ryhmiin verrattuna, mutta paino, BMI ja rasvamassan määrä heillä oli muihin ryhmiin nähden suurempi. Nämä tekijät kuvaavat toki myös lajivaatimuksia, sillä useimmissa palloilulajeissa ei korostu pieni kehonpaino ja massasta saatava joissain tilanteissa, kuten kontaktitilanteissa fysiikan lakien mukaan, olla hyötyä. Lihasmassan suhteen ryhmien välillä ei ollut suurta eroa. Syitä näiden muuttujien väliseen yhteyteen voidaan palloilijoilla hakea esimerkiksi tahattomasta tai tahallisesta energiansaannin rajoittamisesta (Loucks ym. 2011). Voi olla, että heillä näkyy vahvasti harjoittelun aikaansaama energiavaje, eivätkä he ole saaneet syötyä tarpeeksi raskaina harjoituspäivinä, koska eivät ole tunteet nälkää (Hubert ym. 1998; King 1997). Ruokapäiväkirjojen täyttö on voinut osua raskaille harjoituspäiville, jolloin kulutus on ollut sen verran suurta, ettei sinä päivänä ole onnistuttu syömään tarpeeksi kulutukseen nähden (Hubert ym. 1998; King 1997). Tätä energiavajetta on voitu kompensoida sitten lepopäivinä, jolloin on onnistuttu syömään enemmän, mikä ei välttämättä osunut ruokapäiväkirjan täytön päville. Palloilijoiden alhaisemmassa energiansaataavuudessa voi myös olla kyse tahallisesta energiansaannin rajoittamisesta, jos tavoitellaan alhaisempaa kehonpainoa, jolloin energiansaataavuuskin jää pienemmäksi (Loucks ym. 2011; Sundgot-Borgen & Torstveit 2010). Kestävyyslajien urheilijoilla tilanne oli taas päinvastainen energiansaataavuuden ja kyseisten kehonkoostumusmittareiden kanssa. Kuten ylempänä jo todettiin, kestävyyslajien urheilijoiden ollessa jo lajiinsa nähden suotuisassa kehon koossa, pyrkivätkin he syömään hyvin, jotta saavuttaisivat optimaalisemman energiansaataavuuden kehityksen kannalta ja palautuisivat paremmin (Ilander 2014, 22–23; Loucks ym. 2011), jolloin tämä näkyy energiansaataavuuden ja painon, BMI:n ja rasvamassan negatiivisena korrelaationa.

Kuukautisstatus kuvastaa pidempiaikaista energiansaataavuuden tilaa, joista kuukautiskierron häiriöt kertovat pidemmän ajan riittämättömästä energiansaannista (Nattiv ym. 2007). Kestävyyslajien urheilijoilla havaittiin toisiin lajiryhmiin verrattuna enemmän amenorreaa sekä vähiten runsaita vuotoja. Havainnon tilastollisuuden merkitsevyyden vahvuutta kuitenkin heikentää ryhmien pienet koot. Runsaiden vuotojen pienempää määrää voidaan selittää amenorrealla,

jolloin kuukautiset jäävät kokonaan pois. Tämän havainnon perusteella kestävyyslajien urheilijoiden ryhmällä havaittaisiin siis eniten matalaa energiansaataavuutta käytettäessä kuukautisstatusta matalan energiansaataavuuden mittarina. Tämä on linjassa aiemman tutkimustiedon matalan energiansaataavuuden riskistä ja lajivaatimusten kanssa (Sundgot-Borgen & Torstveit 2010; Nattiv ym. 2007), mutta ristiriidassa tässä tutkielmassa ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen avulla määritetyn energiansaataavuuden kanssa. Tämän havainnon voi selittää ruoka- ja harjoituspäiväkirjojen virheellisuus ja yliportointi tai tahaton tai tahallinen ylisyöminen tutkimusjakson aikana (Magkos & Yannakoulia 2003). Toisaalta voi olla, että tämänhetkinen energiansaataavuus olikin tutkimusjaksolla riittävää, mutta aikaisempien kuukausien ja vuosien energiansaataavuus ei ole ollut, mikä on pidemmällä aikavälillä aiheuttanut amenorreaa, ja kuukautiskierto ei ole vielä ehtinyt palata normaaliksi. Mielenkiintoisesti amenorrearyhmällä on myös ollut riittävin energiansaataavuus muihin kuukautisstatuksen ryhmiin verrattuna, ja eumenorrisilla taas alhaisin. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Tässäkin huomataan ristiriita eri tavoilla määritettyjen energiansaataavuuksien välillä, mitä voidaan selittää edellä mainituilla tekijöillä.

7.3 Raudanpuutteen selittäviä tekijöitä

Kuukautisstatuksen mukaan jaetuissa ryhmissä amenorrisiin, oligomenorrisiin, eumenorrisiin ja hormonaalista ehkäisyä käyttäviin ei löytynyt eroja rautastatukseen ja energiansaataavuuden suhteen. Kuukautisstatus ei ollut yhteydessä rauta-arvoihin eikä energiansaataavuuteen, eikä siten osaltaan selittänyt niitä. Tässä tutkimuksessa amenorrisilla urheilijoilla ei havaittu suurempaa riskiä raudanpuutteeseen, jolloin pitkäaikaisempaa matalaa energiansaataavuutta kuvaavat kuukautishäiriöt eivät olleet yhteydessä raudanpuutteeseen. Tämä voi selittyä myös sillä, että toisaalta eumenorriset urheilevat naiset voivat olla myös suuremmassa riskissä raudanpuutteelle amenorrisiin verrattuna johtuen kuukautisvuodon mukana menetetyistä veren määristä (Petkus ym. 2019). Etenkin runsaat ja pitkäkestoiset kuukautiset voivat altistaa raudanpuutteelle (Milman ym. 1998). Kysymysmerkiksi jää hormonaalista ehkäisyä käyttävä ryhmä, joilla kuukautiskierron häiriöitä ei huomata. Heidän energiansaataavuutensa oli kuitenkin samaa luokkaa kuin eumenorrisilla urheilijoilla.

Energiansaataavuuden ja rautastatuksen välillä ei myöskään löytynyt yhteyttä, joten matala energiansaataavuus ei tässä tutkimuksessa selittänyt raudanpuutetta. Tutkimuksissa on esitetty energiansaataavuuden ja rautastatuksen välisiä yhteyksiä (mm. Petkus 2017), mikä ei ole linjassa

tämän tutkimuksen havaintojen kanssa. Kestävyyssurheilijoilla oli kuitenkin riittävin energiansaataavuus ja heiltä löytyi myös vähiten matalaa energiansaataavuutta sekä korkeimmat rautaravot, kun taas palloilijoilla oli heikoimmat rautaravot sekä eniten matalaa energiansaataavuutta. Nämä havainnot osaltaan tukevat aikaisempaa tutkimusta energiansaataavuuden ja rautatason yhteyksistä (Petkus 2017; McKay ym. 2020; Koehler ym 2021; Kopp-Woodroffe ym. 1999; Finn ym. 2021; Sim ym. 2019). Ryhmien väliset erot raudanpuutteen ja matalan energiansaataavuuden suhteen eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä, vaikka palloilijat erosivatkin selkeästi muista ryhmistä rautaravojen suhteen. Sattuma voi siis selittää näitä havaittuja yhteyksiä, mutta toisaalta havainnot voivat myös selittyä sillä, kun energiansaataavuus on ollut riittävällä tasolla, on syöty riittävästi ja näin ollen todennäköisemmin syöty tarpeeksi hyviä raudanlähteitä (McKay ym. 2020). Toisaalta taas, jos energiansaataavuus ja energiansaanti ovat olleet riittämättömällä tasolla, kasvaa myös riski riittämättömään raudansaantiin ruokavaliosta (McKay ym. 2020).

7.4 Tutkimuksen rajoitukset

Energiansaataavuuden määrittely on ongelmallista energiansaataavuuden määrittelyn menetelmien vaihtelevuuden takia (Logue ym. 2020). Energiansaannin määrittelyssä ruokapäiväkirjojen täyttö voi olla epätarkkaa, eikä täysin objektiivista dataa ole mahdollista saada. Tutkittavat saattavat tahattomasti tai tahallaan muuttaa ruokailukäyttäytymistään tai täyttää huolimattomasti ruokapäiväkirjaa. Kuten Magkos & Yannakoulia (2003) totesivatkin, ruokapäiväkirjojen täyttö on kohtuullisen luotettava menetelmä urheilijan energiansaantia arvioitaessa, mutta saattavat kuitenkin usein antaa todellisuutta pienemmän arvion energiansaataavuudesta edellä mainittujen syiden takia. Myös energiankulutuksen arvioiminen on hankalaa pelkkien harjoituspäiväkirjojen perusteella. Tästä syystä energiansaannin ja -saataavuuden arviointiin tulee suhtautua myös kriittisesti. Ruoka- ja harjoituspäiväkirjat voivat siis olla virheellisiä, ja niiden tueksi olisikin hyvä ottaa myös fysiologisia markkereita (Burke ym. 2018; Heikura ym. 2018). Muiden fysiologisten markkereiden käyttö energiansaataavuuden määrittelyssä olisikin voinut lisätä energiansaataavuuden määrittelyn tarkkuutta ja lisännyt tutkimuksen luotettavuutta. Näin olisi voitu saada objektiivisempaa dataa ja laajempi käsitys energiansaataavuudesta sekä luotettavampaa tietoa matalan energiansaataavuuden esiintyvyydestä. Itseraportoitujen energiansaataavuuden määrittelyksen ja metabolisten hormonien tai kuukautiskierron häiriöiden kanssa ei aina ole kuitenkaan löytynyt yhteyksiä aikaisemmissa tutkimuksissa (Koehler ym. 2013; Melin ym. 2015; Reed ym. 2015). Energiansaataavuus on myös pidemmän ajan kuluessa kehittyvä tila, ja

siihen voi olla vaikea tarttua neljän päivän ruoka- ja harjoituspäiväkirjan avulla määritetyn energiansaataavuuden perusteella. Neljän päivän ruokapäiväkirja ei välttämättä anna tarpeeksi kattavaa kuvaa pidemmän aikavälin energiansaannista. Kuukautisstatus saattaisikin toimia paremmin etenkin pidemmän aikavälin energiansaataavuuden mittarina.

Raudanpuute kehittyy pidemmän ajan kuluessa, ja on hyvä huomioida, että tämä tutkimus kertoo vain yhden aikapisteen rautastatuksen tilan naisurheilijoilla. Tässä tutkielmassa ei tarkasteltu harjoitusmääriä, muuten kuin pelkästään energiankulutusta energiansaataavuutta määrittäessä. Harjoittelun määrää, intensiteettiä ja frekvenssiä ei tarkasteltu, ja ne ovat saattaneet toimia myös vaikuttavina tekijöinä raudanpuutteen kehittymisessä (McClung 2012). Myöskään tulehdustekijöitä ei tässä tutkielmassa ei tarkasteltu, mistä syystä raudanpuutetta ferritiinin suhteen ei kaikilla välttämättä havaittu, jos tulehdusarvot olivat koholla, sillä ferritiiniarvot saattavat kohota tulehdustilassa (Garcia-Casal ym. 2018). Tässä tutkielmassa tarkasteltiin raudanpuutetta kahden eri muuttujan, hemoglobiinin ja ferritiinin, avulla erikseen. Muuttujien yhteinen tarkastelu olisi voinut antaa lisätietoa raudanpuuteanemian prevalenssista naisurheilijoilla.

Lajien mukaan jaetut ryhmät olivat hyvin eri kokoisia. Palloiluryhmä oli huomattavasti suurempi muihin lajiryhmiin verrattuna. Ryhmissä korostuivat myös tietyt lajit, mikä on saattanut vaikuttaa tuloksiin. Kolmas lajiryhmä eli nopeus-, teho- ja taitolajien ryhmä on myös hyvin heterogeeninen, mikä saattoi vaikuttaa siihen, ettei kaikkien ryhmien väliltä löytynyt eroja. Kyseisen ryhmän sisältä ei myöskään löytynyt niin suurta heterogeenisuutta tutkimusmuuttujien suhteen, vaan ennemminkin suurta hajontaa, mikä voi selittyä ryhmän sisäisellä lajikirjolla.

7.5 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset

Tässä tutkimuksessa on suuri otoskoko, mikä antaa melko hyvän kuvan vähintään kansallisen tason naisurheilijoiden rautastatuksesta ja energiansaataavuudesta, myös lajiryhmittäin. Tutkimus antaa laajan kuvan suomalaisten naisurheilijoiden raudanpuutteen yleisyydestä, mikä on tähdellinen tieto, sillä raudanpuute on merkittävä terveyden- ja suorituskyvyntekijä yksittäisellä urheilijalla.

Tämän tutkimuksen perusteella alhainen hemoglobiini ei ollut yleistä naisurheilijoilla, mutta alhainen ferritiini havaittiin noin 15 prosentilla urheilijoista. Nämä tulokset olivat linjassa aikaisemman tutkimustiedon kanssa. Alhainen ferritiini kuitenkin jo kertoo jo raudanpuutteesta, joten olisikin hyvä jo tässä vaiheessa puuttua urheilijoiden raudansaantiin ja raudanpuut-

teen riskitekijöihin, jotta raudanpuute ei kehittyisi vakavammaksi. Tämän tutkimuksen perusteella kestävyysurheilijat eivät olleet suuremmassa raudanpuutteen riskissä, eivätkä eri lajien urheilijat eronneet raudanpuutteen suhteen merkitsevästi toisistaan. Palloilijoilla havaittiin kuitenkin alhaisimmat rauta-arvot, joten lajiryhmänä palloilijat ovat ryhmä, jonka riittävään raudansaantiin ja raudanpuutteen riskitekijöihin olisi hyvä kiinnittää jatkossa huomiota. Kuu-kautisstatus ja energiansaataavuus eivät tässä tutkimuksessa selittäneet naisurheilijoiden rautastatusta. Aiheesta tarvitaan tutkimusta vielä lisää, jotta energiansaataavuuden ja rautastatuksen yhteyksistä saataisiin parempi kuva.

LÄHTEET

- Ackerman, K. E., Holtzman, B., Cooper, K. M., Flynn, E. F., Bruinvels, G., Tenforde, A. S., ... & Parziale, A. L. (2019). Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *British journal of sports medicine*, 53(10), 628-633.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Basset, D. R., Tudor-Locke Jr. 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.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., & Plunkett, A. (2015). Iron and the female athlete: a review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance. *Journal of the international society of sports nutrition*, 12(1), 38.
- Al-Delaimy, W. K., Jansen, E. H. J. M., Peeters, P. H. M., van Der Laan, J. D., van Noord, P. A. H., Boshuizen, H. C., . . . Bueno-de-Mesquita, H. B. (2006). Reliability of biomarkers of iron status, blood lipids, oxidative stress, vitamin D, C-reactive protein and fructosamine in two Dutch cohorts. *Biomarkers*, 11(4), 370-382. <https://doi.org/10.1080/13547500600799748>
- Anschuetz, S., Rodgers, C. D., & Taylor, A. W. (2010). Meal composition and iron status of experienced male and female distance runners. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 8(1), 25-33.
- Anderson, G. J., & Frazer, D. M. (2017). Current understanding of iron homeostasis. *The American journal of clinical nutrition*, 106(suppl_6), 1559S-1566S.
- Auersperger, I., Knap, B., Jerin, A., Lainscak, M., Skitek, M., & Skof, B. (2012). The effects of 8 weeks of endurance running on hepcidin concentrations, inflammatory parameters, and iron status in female runners. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(1), 55-63.
- Auersperger, I., Škof, B., Leskošek, B., Knap, B., Jerin, A., & Lainscak, M. (2013). Exercise-induced changes in iron status and hepcidin response in female runners. *PLoS One*, 8(3), e58090.
- Badenhorst, C. E., Black, K. E., & O'Brien, W. J. (2019). Hepcidin as a prospective individualized biomarker for individuals at risk of low energy availability. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(6), 671-681.

- Badenhorst, C. E., Dawson, B., Cox, G. R., Laarakkers, C. M., Swinkels, D. W., & Peeling, P. (2015). Acute dietary carbohydrate manipulation and the subsequent inflammatory and hepcidin responses to exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 115, 2521-2530.
- Badenhorst, C. E., Dawson, B., Cox, G. R., Sim, M., Laarakkers, C. M., Swinkels, D. W., & Peeling, P. (2016). Seven days of high carbohydrate ingestion does not attenuate post-exercise IL-6 and hepcidin levels. *European Journal of Applied Physiology*, 116, 1715-1724.
- Baldwin, J. M. (1976). Structure and function of haemoglobin. *Progress in biophysics and molecular biology*, 29, 225-320.
- Beard, J., & Tobin, B. (2000). Iron status and exercise. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2), 594S-597S.
- Beermann, B. L., Lee, D. G., Almstedt, H. C., & McCormack, W. P. (2020). Nutritional intake and energy availability of collegiate distance runners. *Journal of the American College of Nutrition*, 39(8), 747-755.
- Bergh, U., & Forsberg, A. (1992). Influence of body mass on cross-country ski racing performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 24(9), 1033-1039.
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human kinetics*.
- Buratti, P., Gammella, E., Rybinska, I., Cairo, G., & Recalcati, S. (2015). Recent advances in iron metabolism: relevance for health, exercise, and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1596-604.
- 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.
- Camaschella, C. (2015). Iron deficiency: new insights into diagnosis and treatment. *Hematology 2014, the American Society of Hematology Education Program Book*, 2015(1), 8-13.
- Chatard, J. C., Mujika, I., Guy, C., & Lacour, J. R. (1999). Anaemia and iron deficiency in athletes. *Sports Medicine*, 27(4), 229-240.
- Coates, A., Mountjoy, M., & Burr, J. (2017). Incidence of iron deficiency and iron deficient anemia in elite runners and triathletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 27(5), 493-498.
- O'Connor, H., Olds, T., & Maughan, R. J. (2007). Physique and performance for track and field events. *Journal of sports sciences*, 25(S1), S49-S60.

- Cook, J. D., Baynes, R. D., & Skikne, B. S. (1992). Iron deficiency and the measurement of iron status. *Nutrition Research Reviews*, 5(1), 198-202.
- Cunningham, J. J. (1980). A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *The American journal of Clinical Nutrition* 33(11), 2372–2374.
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2011). Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: a study of female collegiate rowers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(6), 501-506.
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2012). Iron status is associated with endurance performance and training in female rowers. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(8), 1552-1559.
- DellaValle, D. M. (2013). Iron supplementation for female athletes: effects on iron status and performance outcomes. *Current sports medicine reports*, 12(4), 234-239.
- Di Santolo, M., Stel, G., Banfi, G., Gonano, F., & Cauci, S. (2008). Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *European journal of applied physiology*, 102, 703-709.
- Ebeling, F., Sinisalo, M., Säily, M., Widenius, T., Kuittinen, T., Itälä-Remes, M., & Remes, K. (2019). Raudanpuute ilman anemiaa-miten ferritiiniarvoa tulkitaan?. *Suomen lääkäri-lehti*.
- Elsayed, M. E., Sharif, M. U., & Stack, A. G. (2016). Transferrin saturation: a body iron biomarker. *Advances in clinical chemistry*, 75, 71-97.
- Finn, E. E., Tenforde, A. S., Fredericson, M., Golden, N. H., Carson, T. L., Karvonen-Gutierrez, C. A., & Carlson, J. L. (2021). Markers of low iron status are associated with female athlete triad risk factors. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Galesloot, T. E., Vermeulen, S. H., Geurts-Moespot, A. J., Klaver, S. M., Kroot, J. J., van Tienoven, D., ... & Swinkels, D. W. (2011). Serum hepcidin: reference ranges and biochemical correlates in the general population. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 117(25), e218-e225.
- Garcia-Casal, M. N., Pasricha, S. R., Martinez, R. X., Lopez-Perez, L., & Pena-Rosas, J. P. (2018). Are current serum and plasma ferritin cut-offs for iron deficiency and overload accurate and reflecting iron status? A systematic review. *Archives of medical research*, 49(6), 405-417.
- Garthe, I., Raastad, T., Refsnes, P. E., Koivisto, A. & Sundgot-Borgen, J. (2011). Effects of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related

- performance in elite athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 21 (2), 97–104.
- Guyton, A. C & Hall, J. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. 13. painos. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier.
- Hallberg, L., Brune, M., Erlandsson, M., Sandberg, A. S., & Rossander-Hulten, L. (1991). Calcium: effect of different amounts on nonheme- and heme-iron absorption in humans. *The American journal of clinical nutrition*, 53(1), 112-119.
- Hare, D. J. (2017). Hepcidin: a real-time biomarker of iron need. *Metallomics*, 9(6), 606-618.
- Heikura, I. (2021). *Liikuntaravitsemus 3.0. Suhteellinen energianvaje urheilussa*. VK-kustannus.
- 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(4), 403-411.
- Hinrichs, T., Franke, J., Voss, S., Bloch, W., Schänzer, W., & Platen, P. (2010). Total hemoglobin mass, iron status, and endurance capacity in elite field hockey players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(3), 629-638.
- Hinton, P. S. (2014). Iron and the endurance athlete. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(9), 1012-1018.
- Hoek, H. W., & Van Hoeken, D. (2003). Review of the prevalence and incidence of eating disorders. *International Journal of eating disorders*, 34(4), 383-396.
- Hubert, P., King, N. A., Blundell, J. E. (1998). Uncoupling the Effects of Energy Expenditure and Energy Intake: Appetite Response to Short-term Energy Deficit Induced by Meal Omission and Physical Activity, *Appetite*, Volume 31, Issue 1, 1998, Pages 9-19, ISSN 0195-6663.
- Ihle, R., & Loucks, A. B. (2004). Dose-response relationships between energy availability and bone turnover in young exercising women. *Journal of bone and mineral research*, 19(8), 1231-1240.
- Ilander, O. (2014) *Liikuntaravitsemus*. VK-kustannus.
- Itkonen, O., Parkkinen, J., Stenman, U. H., & Hämäläinen, E. (2012). Preanalytical factors and reference intervals for serum hepcidin LC–MS/MS method. *Clinica Chimica Acta*, 413(7-8), 696-701.
- Joy, E., De Souza, M. J., Nattiv, A., Misra, M., Williams, N. I., Mallinson, R. J., ... & Borgen, J. S. (2014). 2014 female athlete triad coalition consensus statement on treatment and

- return to play of the female athlete triad. *Current sports medicine reports*, 13(4), 219-232.
- Kettunen, O. (2018). Ravinnon, kehonkoostumuksen, harjoittelun, vammojen ja hormonitoiminnan yhteyksiä nuorten kestävyysjuoksijoiden kilpailutuloksiin.
- Kiebzak, G. M., Leamy, L. J., Pierson, L. M., Nord, R. H. & Zhang, Z. Y. (2000). Measurement precision of body composition variables using the lunar DPX-L densitometer. *Journal of Clinical Densitometry* 3 (1), 35–41.
- King, N. A., Lluch, A., Stubbs, R. J., & Blundell, J. E. (1997). High dose exercise does not increase hunger or energy intake in free living males. *European journal of clinical nutrition*, 51(7), 478-483.
- 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.
- Koehler, K., Braun, H., Achtzehn, S., Hildebrand, U., Predel, H. G., Mester, J., & Schänzer, W. (2012). Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise. *European journal of applied physiology*, 112, 513-523.
- Kopp-Woodroffe, S. A., Manore, M. M., Dueck, C. A., Skinner, J. S., & Matt, K. S. (1999). Energy and nutrient status of amenorrheic athletes participating in a diet and exercise training intervention program. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 9(1), 70-88.
- Levine, J. A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public health nutrition*, 8(7a), 1123-1132.
- Logue, D. M., Madigan, S. M., Melin, A., Delahunt, E., Heinen, M., Donnell, S. J. M., & 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.
- Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of sports sciences*, 22(1), 1-14.
- Loucks, A. B. (2007). Low energy availability in the marathon and other endurance sports. *Sports Medicine*, 37(4), 348-352.
- Loucks, A. B. (2013). Energy balance and energy availability. *The encyclopaedia of sports medicine: An IOC medical commission publication*, 19, 72-87.

- Loucks, A. B., & Heath, E. M. (1994). Dietary restriction reduces luteinizing hormone (LH) pulse frequency during waking hours and increases LH pulse amplitude during sleep in young menstruating women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 78(4), 910-915.
- Loucks, A. B., Kiens, B., & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of sports sciences*, 29(sup1), S7-S15.
- Loucks, A. B., & Thuma, J. R. (2003). Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(1), 297-311.
- Loucks, A. B., Verdun, M., Heath, E. M., & (With the Technical Assistance of T. Law, Sr. and JR Thuma). (1998). Low energy availability, not stress of exercise, alters LH pulsatility in exercising women. *Journal of applied physiology*, 84(1), 37-46.
- Magkos, F. & Yannakoulia, M. (2003). Methodology of dietary assessment in athletes: concepts and pitfalls. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 6, 539– 549.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., Katch, V. I. (2015). *Exercise Physiology. Nutrition, Energy, and Human Performance*. 8. painos. Baltimore, USA: Lippincott Williams and Wilkins.
- McClung, J. P. (2012). Iron status and the female athlete. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 26(2-3), 124-126.
- McClung, J. P., Gaffney-Stomberg, E., & Lee, J. J. (2014). Female athletes: a population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(4), 388-392.
- Mei, Z., Cogswell, M. E., Parvanta, I., Lynch, S., Beard, J. L., Stoltzfus, R. J., & Grummer-Strawn, L. M. (2005). Hemoglobin and ferritin are currently the most efficient indicators of population response to iron interventions: an analysis of nine randomized controlled trials. *The Journal of nutrition*, 135(8), 1974-1980.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Faber, J., Ritz, C., Sjödin, A., & Sundgot-Borgen, J. (2014). The LEAF questionnaire: a screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *British journal of sports medicine*, 48(7), 540-545.
- Melin, A., Tornberg, Å. B., Skouby, S., Møller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., ... & Sjödin, A. (2015). Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(5), 610-622.

- Melin, A. K., Heikura, I. A., Tenforde, A., & Mountjoy, M. (2019). Energy availability in athletics: health, performance, and physique. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29(2), 152-164.
- Mettler, S., & Zimmermann, M. B. (2010). Iron excess in recreational marathon runners. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(5), 490-494.
- Milman, N., Clausen, J., & Byg, K. E. (1998). Iron status in 268 Danish women aged 18–30 years: influence of menstruation, contraceptive method, and iron supplementation. *Annals of hematology*, 77, 13-19.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., ... & Budgett, R. (2018). International Olympic Committee (IOC) consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 28(4), 316-331.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Meyer N., Sherman, R., Steffen, K., Budgett, R. & Ljungqvist, A. (2014). The IOC consensus statement: beyond the female athlete triad—relative energy deficiency in sport (RED-S). *British journal of sports medicine*, 48(7), 491-497.
- Muñoz, M., Villar, I. & García-Erce JA. (2009). An update on iron physiology. *World J Gastroenterol* 15(37): 4617-4626.
- Nana, A., Slater, G. J., Stewart, A. D., & Burke, L. M. (2015). Methodology review: using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for the assessment of body composition in athletes and active people. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 25(2), 198-215.
- Nattiv, A., Loucks, A., Manore, M., Sanborn, C., Sundgot-Borgen, J. & Warren, M. (2007). The Female Athlete Triad. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 39 (10), 1867–1882.
- Parks, R. B., Hetzel, S. J., & Brooks, M. A. (2017). Iron deficiency and anemia among collegiate athletes: a retrospective chart review. *Medicine and science in sports and exercise*, 49(8), 1711-1715.
- 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.
- Petkus, D. L., Murray-Kolb, L. E., Scott, S. P., Southmayd, E. A., & De Souza, M. J. (2019). Iron status at opposite ends of the menstrual function spectrum. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 51, 169-175.

- Pinheiro Volp, A. C., de Oliveira, F. C., Duarte Moreira Alves, R., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutricion hospitalaria*, 26(3).
- Pfeiffer, C. M., & Looker, A. C. (2017). Laboratory methodologies for indicators of iron status: strengths, limitations, and analytical challenges. *The American journal of clinical nutrition*, 106(suppl_6), 1606S-1614S.
- Reed, J. L., De Souza, M. J., Mallinson, R. J., Scheid, J. L., & Williams, N. I. (2015). Energy availability discriminates clinical menstrual status in exercising women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 11.
- Restrepo-Gallego, M., Díaz, L. E., & Rondó, P. H. (2021). Classic and emergent indicators for the assessment of human iron status. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 2827-2840.
- Sandström, G., Börjesson, M., & Rödger, S. (2012). Iron deficiency in adolescent female athletes—is iron status affected by regular sporting activity?. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(6), 495-500.
- Schubert, M. M., Seay, R. F., Spain, K. K., Clarke, H. E., & Taylor, J. K. (2019). Reliability and validity of various laboratory methods of body composition assessment in young adults. *Clinical physiology and functional imaging*, 39(2), 150-159.
- Sim, M., Garvican-Lewis, L. A., Cox, G. R., Govus, A., McKay, A. K., Stellingwerff, T., & Peeling, P. (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *European journal of applied physiology*, 119, 1463-1478.
- Smink, F. R., Van Hoeken, D., & Hoek, H. W. (2012). Epidemiology of eating disorders: incidence, prevalence and mortality rates. *Current psychiatry reports*, 14(4), 406-414.
- Smith, E. M., Alvarez, J. A., Kearns, M. D., Hao, L., Sloan, J. H., Konrad, R. J., ... & Tangpricha, V. (2017). High-dose vitamin D3 reduces circulating hepcidin concentrations: A pilot, randomized, double-blind, placebo-controlled trial in healthy adults. *Clinical nutrition*, 36(4), 980-985.
- Stubbs, R. J., Hughes, D. A., Johnstone, A. M., Whybrow, S., Horgan, G. W., King, N., & Blundell, J. (2004). Rate and extent of compensatory changes in energy intake and expenditure in response to altered exercise and diet composition in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 286(2), R350-R358.
- 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.
- 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(1), 25-32.
- 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.
- Terveyskirjasto. (2021). Ferritiini, plasmasta (P-Ferrit). Viitattu 24.4.2023. www.terveyskirjasto.fi/snk03356/ferritiini-plasmasta-pferrit?q=ferritiini
- Terveyskirjasto. (2022). Hemoglobiini (B-Hb). Viitattu 24.4.2023. www.terveyskirjasto.fi/snk03031/hemoglobiini-b-hb?q=hemoglobiini
- Terveyskirjasto. (2022). Anemian (alhainen hemoglobiini). Viitattu 24.4.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00006/anemia-alhainen-hemoglobiini>
- Terveyskirjasto. (2022). Hematokriitti (B-Hkr). Viitattu 24.4.2023: www.terveyskirjasto.fi/snk03032/punasolujen-maara-b-eryt-ja-hematokriitti-b-hkr?q=hematokriitti
- Terveyskirjasto. (2022). Normaali kuukautiskierto. Viitattu 10.5.2023. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00158>
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc*, 48, 543-568.
- Toivo, K., Kannus, P., Kokko, S., Alanko, L., Heinonen, O. J., Korpelainen, R., ... & Parkkari, J. (2020). Haemoglobin, iron status and lung function of adolescents participating in organised sports in the Finnish Health Promoting Sports Club Study. *BMJ open sport & exercise medicine*, 6(1), e000804.
- 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 & science in sports*, 18(1), 108-118.
- Winter, W. E., Bazydlo, L. A., & Harris, N. S. (2014). The molecular biology of human iron metabolism. *Laboratory medicine*, 45(2), 92-102. World Health Organization. 2011. Serum ferritin concentrations for the assessment of iron status and iron deficiency in populations (No. WHO/NMH/NHD/MNM/11.2). World Health Organization.

World Health Organization. (2011). Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity (No. WHO/NMH/NHD/MNM/11.1). World Health Organization.

World Health Organization. (2020). WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in populations. World Health Organization.