

**ELIMISTÖN RAUTASTATUKSEN YHTEYS MAKSIMAALISEEN  
HAPENOTTOKYKYYN JA ENERGIANSAAATAVUUTEEN NAISILLA**

Sara Willberg

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

## TIIVISTELMÄ

Willberg, S. 2023. Elimistön rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn ja energiansaataavuuteen naisilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian pro gradu- tutkielma, 43 s., 1 liite.

Veren hemoglobiinipitoisuuden on havaittu vaikuttavan fyysiseen suorituskyykyyn ja myös maksimaaliseen hapenottokykyyn. Hemoglobiini on yksi muuttuja, joka kuvaa elimistön rautastatusta. Hemoglobiinin lisäksi on muita muuttujia, joita voidaan tarkastella, kun halutaan saada tietoa elimistön rautastatuksesta. Elimistössä oleva rauta saadaan ravinnosta ja raudan puutteen taustalla voi olla liian vähäinen raudan saanti. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, onko fyysisesti aktiivisten naisten elimistön rautastatuksella yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn ja energiansaataavuuteen.

Tämän tutkimuksen aineistona käytettiin Jyväskylän yliopiston NaisQs- sekä MEndEx- tutkimusprojektien dataa. Tutkimus oli poikkileikkaustutkimus ja aineistoa kerättiin vuosien 2019–2022 aikana. Tutkimuksessa tarkasteltiin 19 fertiili-ikäisen (18–35-vuotiaita) naisen maksimaalista hapenottokykyä ( $VO_2\max$ ), suoran hapenottokykytestin maksimi laktaattia ( $La_{\max}$ ), hemoglobiinia (Hb), seerumin ferritiiniä (S-Ferrit), punasolujen keskitilavuutta (MCV) ja punasolujen keskimääräistä hemoglobiinin määrää (MCH). Lisäksi naisten energiansaataavuutta arvioitiin LEAF-Q-kyselyllä.

Tutkittavista kahdeksalla esiintyi heikentyneitä rautastatusta (S-Ferrit  $< 30 \mu\text{g/l}$ ), joista neljällä S-Ferrit oli selkeästi alentunut ( $< 15 \mu\text{g/l}$ ). Näistä yhdellä myös Hb oli alentunut ( $< 117 \text{ l/g}$ ), mutta kaikilla tutkittavilla MCV ja MCH olivat viitearvoissa. Matalat S-Ferrit-pitoisuudet olivat yhteydessä heikompiin  $VO_2\max$ -tuloksiin ( $p < 0,05$ ), mutta muut rautastatusta kuvaavat muuttujat eivät olleet yhteydessä  $VO_2\max$ :iin tai  $La_{\max}$ :iin. Rautastatuksen ei myöskään havaittu olevan yhteydessä LEAF-Q-kyselyn pisteiden kanssa. LEAF-Q-kyselyn pisteiden ja  $VO_2\max$ :in sekä  $La_{\max}$  välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.

Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että fyysisesti aktiivilla naisilla on riski heikentyneelle rautastatukselle. Tämän tutkimuksen mukaan heikentynyt rautastatus voi olla yhteydessä maksimaaliseen hapenottokykyyn, mutta pienen otoskoon vuoksi tuloksia ei voida yleistää isompaan joukkoon. Fertiili-ikäisten fyysisesti aktiivisten naisten rautastatuksen kartoittaminen on kuitenkin tärkeää, koska elimistö tarvitsee rautaa erilaisiin fysiologisiin toimintoihin. Aiheesta olisi tärkeä saada lisätutkimuksia, koska alhainen energiansaanti voi heikentää elimistön rautastatusta, jolla voi olla vaikutuksia yksilön fyysiseen suorituskyykyyn ja terveyteen.

Asiasanat: Rautastatus, seerumin ferritiini, maksimaalinen hapenottokyky, energiansaataavuus

## ABSTRACT

Willberg, S. 2023. Association of body's iron status with maximal oxygen uptake and energy availability in women. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 43 pp. 1 appendice.

Hemoglobin values have been shown to affect physical performance such as maximal oxygen uptake. Hemoglobin is one variable that describes body's iron status. In addition, there are several variables that can be examined when more detailed information about the iron status is needed. Iron is obtained from the food and iron deficiency can be caused by too low iron intake. The purpose of this study was to determine the association of iron status of physical active women to maximal oxygen uptake and energy availability.

The study material consisted of NaisQs and MEndEx research projects of the University of Jyväskylä. The study was cross-sectional study and data was collected between 2019 and 2022 and the subject sample consisted of 19 fertile age women (18 to 35 years). Subjects were tested for maximum oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), maximum lactate ( $La_{max}$ ), hemoglobin (Hb), serum ferritin (S-Ferrit), mean corpuscular volume of red blood cells (MCV) and mean corpuscular hemoglobin (MCH). Energy availability was estimated with the LEAF-Q questionnaire.

Eight of the subjects had iron deficiency (S-Ferrit  $< 30 \mu\text{g/l}$ ) four of which had a clear decrease in S-ferritin ( $< 15 \mu\text{g/l}$ ). MCV and MCH were within the reference values in all subjects, but one subject had decreased Hb ( $< 117 \text{ l/g}$ ). S-Ferrit was negatively associated with  $VO_{2max}$  results ( $p < 0,05$ ), but other iron status variables were not associated with  $VO_{2max}$  or  $La_{max}$ . Variables of iron status were not associated with LEAF-Q questionnaire scores. There was no statistically significant association between the LEAF-Q questionnaire scores and  $VO_{2max}$  and  $La_{max}$ .

In conclusion, according to this study physically active women are at risk of reduced iron status and iron deficiency may be related to maximal oxygen uptake. However, the results cannot be generalized to a larger group because of small sample size. After all surveying of the iron status of physically active women of fertile age is important, because body needs iron for physiological functions. In future, it would be important to perform more research of this topic because low energy availability can reduce the body's iron status which can affect an individual's physical performance and health.

Key words: Iron status, serum ferritin, maximal oxygen uptake, energy availability

## KÄYTETYT LYHENTEET

CRP	C-reaktiivinen proteiini
EA	energy availability, energiansaatavuus
EDE-Q	Eating Disorder Examination -Questionnaire, syömishäiriöoireilua kartoittava kysely
EEE	exercise energy expenditure, harjoittelun aikainen energiankulutus
EI	energy intake, energiansaanti
E-MCV	punasolujen keskitilavuus
E-MCH	punasolujen keskimääräinen hemoglobiinin määrä
FFM	fat free mass, kehon rasvaton massa
Hb	hemoglobiini
IDWA	iron deficiency without anemia, raudanpuute ilman anemiaa
La <sub>max</sub>	maksimi laktaatti
LEA	low energy availability, liian alhainen energiansaatavuus
LEAF-Q	Low Energy Availability in Females Questionnaire, naisurheilijan oireyhtymän riskiä mittaava kysely
RED-S	Relative Energy Deficiency in Sport, Suhteellinen energiavaje urheilussa
RER	respiratory exchange ratio, hengitysosamäärä
S-Ferrit	seerumin ferritiini
TfR	liukoinen transferrinireseptori
VO <sub>2max</sub>	maximal oxygen uptake, maksimaalinen hapenottoikyky

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO .....	1
2	ELIMISTÖN RAUTASTATUS .....	4
2.1	Rautaparametrit .....	4
2.2	Heikentynyt rautastatus .....	5
3	ENERGIANSAAATAVUUS JA ELIMISTÖN RAUTATASAPAINO .....	9
3.1	Energiansaatavuuden määrittäminen .....	9
3.1.1	Liian alhainen energiansaatavuus .....	9
3.1.2	Alhaisen energiansaatavuuden arviointi kyselyllä .....	10
3.2	Energiansaatavuuden yhteydet elimistön rautastatukseen .....	12
4	KESTÄVYYSSUORITUSKYKY .....	15
4.1	Maksimaalinen hapenottokyky .....	15
4.1.1	Energia-aineenvaihdunta kestävyys suorituksessa .....	17
4.1.2	Hengitysosamäärä .....	18
4.2	Rautastatuksen vaikutukset kestävyys suoritukseseen .....	19
5	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT .....	23
6	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	24
6.1	Tutkittavat .....	24
6.2	Tutkimusasetelma .....	25
6.3	Aineiston keruu .....	25
6.4	Tilastolliset analyysimenetelmät .....	26
7	TULOKSET .....	28
7.1	Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn .....	30
7.2	Rautastatuksen yhteys energiansaatavuuteen .....	31

7.3	Energiansaatavuuden yhteys maksimaaliseen hapenottookykyyn .....	32
8	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET	
	Liite 1: Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q-kysely suomeksi)	

# 1 JOHDANTO

Rauta on tärkeä kivennäisaine, jota tarvitaan elimistössä muun muassa oksidatiiviseen aineenvaihduntaan mitokondrioissa, hemoglobiinin tuotantoon ja solujen immuunivasteisiin (Houston ym. 2018). Rautaa saadaan ravinnosta ja se imeytyy pääasiassa ohutsuolessa. Raudan imeytymistä ja kierrätystä säätelee pääosin maksan tuottama hepsidiini. Elimistön päivittäinen raudantarve on noin 25 mg, mutta jos rautaa menetetään paljon, voi tarve olla suurempi. (Sinisalo & Collin 2016) Elimistö voi siis kärsiä raudanpuutteesta, kun raudan kulutus ylittää raudan saannin. Fertiili-ikäiset naiset ovat korkeammassa riskissä raudanpuutteelle verrattuna miehiin, johtuen kuukautisten aiheuttamasta veren menetyksestä. (Pasricha ym. 2014) Erityisesti fyysisesti aktiivisilla naisilla on korkeampi riski raudanpuutteelle, koska liikunnan aikana rautaa kulutetaan elimistössä enemmän, kuin levossa. (Woolf ym. 2009) Alaunyte ym. (2015) mukaan tutkimuksissa on viitteitä siitä, että erityisesti naiskestävyysurheilijoilla raudanpuute olisi yleisempää, verrattuna muuhun väestöön. On kuitenkin arvioitu, että maailmanlaajuisesti raudanpuutteesta kärsii noin 20 % kaikista naisista (Ebeling ym. 2019).

Rautastatuksen määrittämisessä yleisimmin käytössä olevat muuttujat ovat hemoglobiini (Hb) ja hematokriitti (Hkr), jotka saadaan mitattua verinäytteistä suhteellisen edullisesti ja nopeasti. Hb:ssa ja Hkr:ssä tapahtuu kuitenkin muutoksia raudanpuutteen myöhäisvaiheessa, jolloin rautastatus on huomattavasti heikentynyt ja yksilö voi kärsiä vakavasta anemiasta. Tämän vuoksi mahdollisen raudanpuutteen havaitsemiseksi, tulisi käyttää myös muita muuttujia, jotka kertovat elimistön rautastatuksesta. (Woolf ym. 2009) Perusverenkuvasta tulisi tarkastella punasoluindeksejä, joissa voidaan nähdä muutoksia raudanpuutteessa. Lisäksi veren plasman ferritiini on hyvä mittari rautastatuksen kartoittamisessa (Sinisalo & Collin 2016). Ferritiini kertoo elimistön rautavarastoista, jotka sijaitsevat muun muassa maksassa, pernassa ja luuytimessä (Sinisalo & Collin 2016). Pieni osa ferritiinistä erittyy kuitenkin veren plasmaan, jonka määrä korreloi kehon rautavarastojen kanssa (WHO 2011). Brownlien ym. (2002) mukaan, mikäli elimistön Hb-arvot ovat viitearvoissa, mutta plasman ferritiini on viitearvojen alapuolella, on elimistössä raudanpuute ilman anemiaa (IDWA, iron deficiency without anemia). Plasman ferritiinikonsentraatiota mitattaessa tulisi kuitenkin huomioida elimistön mahdollinen tulehdustila, sillä ferritiini on akuutin faasin proteiini, jonka vuoksi ferritiinikonsentraatio voi nousta erilaisissa tulehduksissa, vaikka rautavarastot olisivat todellisuudessa alhaiset (Sinisalo & Collin 2016). Rautastatuksen määrittämisessä voidaan hyödyntää myös plasman transferrinireseptorin (TfR) konsentraatiota, jonka on havaittu

kasvavan, kun elimistön rautavarastot vähenevät (Daru ym. 2017). TfR-konsentraation määrittämisen vahvuus on se, että sen ei ole havaittu kasvavan elimistön tulehdustiloissa, toisin kuin plasman ferritiinin (Rajamäki & Punnon 1998).

Elimistön rauta on lähtöisin ravinnosta, jossa rautaa on kahdessa eri muodossa. Hemirautaa on lähtöisin eläinperäisistä ravintolähteistä, kun ei-hemirautaa on peräisin kasvisperäisestä ravinnosta. (Alaunyte ym. 2015) Buttrissin ja Hughesin (2002) mukaan ravinnosta saatu rauta koostuu pääosin ei-hemiraudasta, joka on hemirautaa heikommin imeytyvää, mutta elimistön tulisi saada molempia rautamuotoja. Iso-Britanniassa päivittäinen raudansaantisuositus fertiili-ikäisille naisille on 14,8 mg ja Yhdysvalloissa päivittäinen suositus on puolestaan 18 mg (Alaunyte ym. 2015). Suomessa fertiili-ikäisten raudansaantisuositus on 15 mg päivää kohden (VRN 2014). On havaittu, että kasvisruokavaliota noudattavilla on suurempi riski liian vähäiseen raudan saantiin verrattuna sekasyöjiin (Pedlar ym. 2018). Myös sekasyöjillä on riski vähäiseen raudansaantiin ja tutkimusten mukaan, liian alhainen energiansaanti (LEA) on yhteydessä alhaiseen raudansaantiin (Finn ym. 2021). Badenhorstin ym. (2019) mukaan LEA voi myös vaikuttaa maksan tuottaman hepsidiinin määrään, jolloin raudan imeytymisessä voi ilmetä ongelmia. LEA voi aiheuttaa naisille hormonaalisia ja metabolisia muutoksia (Melinin ym. 2019), jolloin voidaan puhua naisurheilijan oireyhtymästä tai nykyään yleisimmin käytetystä urheilijoiden suhteellisesta energiavajeesta (REDS-S, Relative Energy Deficiency (McKay ym. 2020). Finn ym. (2021) mukaan tarkkaa tietoa naisurheilijan oireyhtymästä ei tiedetä, mutta arvioiden mukaan peräti 79 % naisurheilijoista täyttää yhden kriteerin kyseisestä oireyhtymästä.

Kestävyys suorituskykyä tarvitaan normaaleissa päivittäisissä toiminnoissa, mutta erityisesti kestävyys suorituskyvyn merkitys kasvaa urheilusuorituksissa, joiden kesto on vähintään kaksi minuuttia. Kestävyys jaetaan eri osa-alueisiin; aerobinen peruskestävyys, vauhtikestävyys, maksimikestävyys ja nopeuskestävyys. (Nummela & Häkkinen 2016, 272) Bassettin ja Howlayn (2000) mukaan yksi keskeisimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa kestävyys suorituskykyyn on maksimaalinen hapenottokyky ( $VO_2max$ ). Tutkimusten mukaan anemiassa eli Hb:n ollessa matala,  $VO_2max$  -tulokset voivat heikentyä jopa 50 % verrattuna elimistön normaaliin ei-aneemiseen tilaan (Haas & Brownlie 2001). IDWA:ssa on huomattu muutoksia energia-aineenvaihdunnassa (Dellavalle & Haas 2012), mutta IDWA:n ei olla havaittu heikentävän elimistön hapenkuljetuskapasiteettia (Burden ym. 2015; Rubeor ym. 2018). Hintonin ja Sinclairin (2007) mukaan elimistön heikentynyt rautastatus laskee kuitenkin



luustolihasen oksidatiivista kapasiteettia, minkä vuoksi kestävyysuorituskyvyssä voidaan nähdä heikentymistä verrattuna elimistön normaaliin rautastatukseen. Burdenin ym. (2015) mukaan IDWA:sta kärsivät naisurheilijat voisivat hyötyä oraalisesti rautalisästä kestävyysuorituskyvyn paranemiseksi, mutta tutkimustieto rautalisän hyödyistä on kuitenkin osin ristiriitaista.

## 2 ELIMISTÖN RAUTASTATUS

Rauta on kivennäisaine, jota keho tarvitsee useisiin eri elimistön toimintoihin kuten hapen kuljetukseen ja energian tuottoon (Sim ym. 2019). Hapenkuljetuksen lisäksi rautaa tarvitaan esimerkiksi myös sitruunahappokierrossa ATP:n (adenosiinitrifosfaatti) muodostamiseen ja elektroninsiirtoketjussa. Rautaa saadaan sekä eläin- että kasvipärisistä lähteistä, ja rauta imeytyy elimistöön pääosin ohutsuolen alkuosassa eli pohjukaissuolessa. (Goldstein 2016) Pohjukaissuolessa rauta siirtyy limakalvon kautta vereen, jossa se kuljetetaan transferriniin avulla soluihin käytettäväksi tai luuytimeen erytropoieesiin eli punasolujen muodostukseen (Buttriss & Hughes 2002). Raudan määrää elimistössä pystytään säätämään lisäämällä tai vähentämällä raudan imeytymistä ravinnosta (Rajamäki & Punnonen 1998). Keskimäärin elimistössä on noin 35–40 mg/kg rautaa, mutta määrissä voi olla eroja, mikäli ihminen kärsii raudanpuutteesta (Sinisalo & Collin 2016).

### 2.1 Rautaparametrit

Hemoglobiini (Hb) on punasolun eli erytrosyytin osa, jonka tärkein ominaisuus on sitoa happea. Hb:n muodostuminen alkaa erytropoieesin alkuvaiheessa luuytimessä, jolloin punasolut ovat vielä proerytroblasteja. Punasolujen kypsyessä hemoglobiinin muodostus jatkuu aina siihen asti, kun punasolut poistuvat luuytimeestä. Hemoglobiini koostuu hemi- ja globiini- osista, jotka ovat sitoutuneet toisiinsa. Hemi muodostuu astetaatista ja glysiini- nimisestä aminohaposta. Globiini on puolestaan pitkä polypeptidiketju, jonka syntetisointi tapahtuu ribosomeissa. Hemoglobiiniketjuissa on vaihtelua riippuen polypeptidiketjujen aminohapoista ja erilaisia ketjutyyppejä ovat afa-, beeta-, gamma- ja deltaketjut. Hemoglobiini A on ihmisen yleisin ketjutyyppeistä ja se muodostuu kahdesta alfaketjusta sekä kahdesta beetaketjusta. (Guyton & Hall, 413–421) Ihmisessä olevasta raudasta noin 2/3 on hemoglobiinissa (Sinisalo & Collin 2016), ja hemoglobiinin viitearvot ovat naisilla 117–155 g/l ja miehillä 134–167 g/l (Tunturi 2022).

Hemoglobiinin lisäksi punasolujen morfologian tarkastelu voi antaa lisätietoa, punasolujen ominaisuuksista. Niin kutsuttuihin punasoluideksejä ovat E-MCV, E-MCH, E-MCHC ja E-RDW (Taulukko 1). E-MCV kertoo punasolujen keskitilavuudesta eli punasolujen koosta, mikä ilmoitetaan femtolitroina (fl). E-MCH kuvaa sitä, kuinka paljon yksi punasolu sisältää hemoglobiinia ja E-MCHC ilmoitetaan pikogrammoina (pg). Punasolujen keskimääräistä

hemoglobiinikonsentraatiota kuvataan E-MCHC:lla ja sen yksikkönä on grammaa/litra, kuten hemoglobiinissa. Punasolujen koon vaihtelusta kertoo E-RDW- arvo, joka ilmoitetaan puolestaan prosentteina. (Seppä & Sillanaukea 1994) Erityisesti E-MCH ja E-MCV ovat punasoluideksejä, joita hyödynnetään raudanpuutteen havaitsemisessa (Pedlar ym. 2018; Rajamäki & Punnonen 1998).

TAULUKKO 1. Punasoluideksien määrittely

Lyhenne	Indeksin määritelmä	Mittayksikkö	Viitearvo
E-MCV	Punasolujen keskitilavuus	Femtolitra (fl)	82–98
E-MCH	Punasolujen keskihemoglobiinimäärä	Pikogramma (pg)	27–33
E-MCHC	Punasolujen keskihemoglobiinipitoisuus	Gamma/litra (g/l)	320–355
E-RDW	Punasolujen koon vaihtelu	Prosentti (%)	Naisilla alle 15 ja miehillä alle 14

Ferritiini on rautaa varastoiva proteiini, jonka pitoisuutta voidaan mitata esimerkiksi verinäytteellä (Daru ym. 2017). Veren ferritiinikonsentraatio kertoo maksan, pernan ja luuytimen rautavarastoista (Garcia-Casal ym. 2018; Sinisalo & Collin 2016). Tutkimuksissa voidaan tutkia seerumin ferritiinikonsentraatiota (S-Ferrit) tai plasman ferritiinikonsentraatiota (P-Ferrit) (Garcia-Casal ym. 2021). Veren seerumi on veren soluton osa, joka erottuu verestä, kun veri hyytyy. Veren plasma on lähes sama veren osuus kuin seerumi, mutta seerumista puuttuu hyytymistekijöitä. (Eerola 2022) Tutkittaessa veren ferritiinipitoisuutta, plasman ja seerumin ferritiinikonsentraatiot ovat samanlaiset (Ebeling ym. 2019). Alhaisen plasman ferritiinipitoisuuden ajatellaan kertovan raudanpuutteesta (Garcia-Casal ym. 2018), ja WHO:n mukaan plasman ferritiinin ollessa < 15 µg/l on kyseessä raudanpuute (WHO 2011).

## 2.2 Heikentynyt rautastatus

Elimistön rautastatuksen heikentyessä kehon rautavarastot eivät pysty vastaamaan kehon aineenvaihdunnallisiin tarpeisiin, mikä johtaa raudasta puutteelliseen erytropoieesiin eli

vääränlaiseen punasolujen kypsymiseen ja lopulta raudanpuuteanemiaan, jolloin voidaan havaita alhaiset Hb-tasot. Kliinisissä ja populaatiotutkimuksissa on kuitenkin huomattu, että Hb on itsessään huono parametri raudanpuutteen osoittamiseen. Hemoglobiiniarvot voivat olla viitearvoissa, vaikka elimistö kärsisi raudanpuutteesta. (Anderson & McLaren 2012, 252–253) Lisäksi elimistö voi oireilla raudanpuutteen vuoksi jo ennen kuin aneminen tila on kehittynyt (Garcia-Casal ym. 2018). Hemoglobiinin ollessa viitearvoissa, voidaan puhua raudanpuutteesta ilman anemiaa (IDWA, iron deficiency without anemia) (Brownlie ym. 2002). Raudanpuutteen on myös arvioitu olevan yleisempää fyysisesti aktiivisilla henkilöillä verrattuna inaktiivisiin yksilöihin (Hinton & Sinclair 2007).

Raudanpuute voidaan jakaa vakavuuden perusteella kolmeen eri asteeseen. Rautastatuksen ehtymiseksi kutsutaan tilaa, jossa rautavarastot ovat tyhjentyneet eli ferritiini on laskenut, mutta raudasta riippuvaisten proteiinien tuotto on normaalia sekä Hb-konsentraatio on viitearvoissa. Marginaalisessa raudanpuutteessa ferritiini on laskenut, raudasta riippuvaisten proteiinien tuotto on heikentynyt, mutta Hb on edelleen normaali. Anemia on raudanpuutteen vakavin tila, jossa rautavarastot ovat ehtyneet, proteiinien tuotto heikentynyt sekä myös Hb-konsentraatio on laskenut. (Brownlie ym. 2002) Vaikka raudanpuute ei olisi edennyt anemian tasolle, on havaittu, että raudanpuute heikentää immuunijärjestelmän toimintaa, vaikuttaa negatiivisesti aineenvaihdunnan tehokkuuteen ja voi myös heikentää kognitiivista toimintaa. Tutkimusta tarvitaan kuitenkin lisää siitä, minkä tasoisella raudanpuutteella on vaikutuksia fysiologiaan. (Petkus ym. 2017)

Heikentynyt rautastatus voi johtua useista tekijöistä, kuten kuukautisvuodosta, sisäisestä verenvuodosta, lisääntyneestä raudan tarpeesta tai vähäisestä raudansaannista. Elimistön rautastatuksen heikentyessä aluksi kulutetaan rautavarastot maksasta, pernasta sekä luuytimeistä, mikä voidaan havaita plasman ferritiinipitoisuuden laskuna. Tämä johtaa raudankuljettajaproteiinin eli transferrinipitoisuuden, erytroblastien transferrinireseptorien sekä liukoisen transferrinireseptorien (TfR) määrän kasvuun. Kun rautaa ei ole käytettävissä Hb:n tuotantoon, erytropoiesi muuttuu epänormaalksi ja punasoluista tulee mikrosytaarisia eli pienikokoisia sekä hypokromisia, jolloin Hb:n määrä punasoluissa on vähentynyt. (Sinisalo & Collin 2016.) Lisäksi laboratoriomittauksissa voidaan havaita transferrinisaturaation laskua eli transferrinin sitoutuneen raudan määrän vähenemistä (Anderson & McLaren 2012, 255). Brownlie ym. (2001) mukaan raudanpuute ilman anemiaa onkin parhaiten määritettävissä korkeista TfR-pitoisuuksista, eikä ainoastaan Hb-konsentraatiosta tai plasman ferritiinistä. On

arvioitu, että noin 30 % fyysisesti aktiivisista naisista kärsisi IDWA:sta, mutta tarkkaa esiintyvyyttä IDWA:lle ei tiedetä (Dellavalle & Haas 2012).

Hepsidiini on hormoni, joka säätelee raudan imeytymistä ja kierrätystä elimistössä. Maksa tuottaa hepsidiiniä, ja sen pitoisuus kasvaa eri inflammatoristen sytokiinien, kuten interleukiini-6 (IL-6) vaikutuksesta. Hepsidiinipitoisuuden kasvaessa, raudan imeytyminen ohutsuolessa heikkenee, eikä transferrini pysty kuljettamaan rautaa muualle elimistöön, joka voi johtaa rautastatuksen heikentymiseen. (Sinisalo & Collin 2016) Hepsidiinin erityksen on myös havaittu kasvavan harjoittelun jälkeen, kun fyysisen suorituksen vasteena lihaksesta vapautuu IL-6:sta. Hepsidiinin erityksen määrä riippuu kuitenkin urheilusuorituksen kestosta ja intensiteetistä, jotka vaikuttavat siihen, millainen vaste IL-6:n eritykseen tapahtuu. Kovatehoisessa harjoituksessa IL-6:n erityks on suurempaa, kuin matalatehoisessa, jossa IL-6:n erityks on vähäisempää. Urheilijoilla raudan imeytymisen ajatellaankin osin heikentyvän kovatehoisten harjoittelun seurauksena. (McKay ym. 2020)

*Rautastatuksen määrittäminen.* Rautastatuksen määrittämisessä voidaan käyttää invasiivista menetelmää, jossa luuydintä tutkitaan mikroskooppisella toimenpiteellä (Daru ym. 2017). Plasman ferritiiniä käytetään kuitenkin laajasti kliinisessä työssä, kun selvitetään elimistön rautastatuksen tilaa (Garcia-Casal ym. 2018). Raja-arvona raudanpuutteelle terveillä henkilöillä plasman ferritiinin ajatellaan olevan  $< 15 \mu\text{g/l}$  (Daru ym. 2017), mutta Ebelingin ym. (2019) mukaan kirjallisuudessa on kuitenkin eroavaisuuksia siitä, mikä on ehdoton raja-arvo plasman ferritiinille, kun selvitetään mahdollista raudanpuutetilaa. Arvioidessa mahdollista raudanpuutetta tulisi plasman ferritiinin lisäksi huomioida henkilön terveyden kokonaistilanne ja yksilötekijät. Mikäli henkilön plasman ferritiini on alle  $15\text{--}30 \mu\text{g/l}$  ja hän kuuluu raudanpuutteen riskiryhmään, on todennäköistä, että henkilön rautastatus on huono. Raudanpuutteen riskiryhmään kuuluvat muun muassa naiset, joilla on runsaat kuukautiset tai ovat synnyttäneet useasti. (Ebeling ym. 2019) Lisäksi heikentynyttä rautastatusta tulisi epäillä silloin, jos plasman ferritiini on alentunut ja henkilöllä on kliinisiä oireita, kuten poikkeavaa väsymystä ja heikkoutta (Daru ym. 2017; Ebeling ym. 2019).

Jos henkilöllä on akuutti infektio, on plasman ferritiini heikko indikaattori raudanpuutteen määrittämiseksi, minkä vuoksi plasman ferritiinin lisäksi tulisi määrittää myös C-reaktiivisen proteiini (CRP), jonka määrä suurenee infektioissa. CRP:n avulla pystytään havaitsemaan mahdollinen infektio tai inflammatorinen tila, jotka voivat vääristää laboratoriotuloksia, jolloin

elimistön rautastatuksesta saadaan vääristettyä tietoa. (Daru ym. 2017; Anderson & McLaren 2012, 257) Plasman ferritiinin lisäksi laboratoriotutkimuksissa voidaan hyödyntää myös TfR-arvoa, jonka arvot eivät muutu infektioissa, kuten plasman ferritiinin (Ebeling ym. 2019). TfR:än ja plasman ferritiinin suhdetta pidetään kliinisesti hyvänä ja tarkkana mittarina määrittämään elimistön rautastatusta (Daru ym. 2017; Anderson & McLaren 2012, 256).

### **3 ENERGIANSAAATAVUUS JA ELIMISTÖN RAUTATASAPAINO**

Elimistö tarvitsee energiaa erilaisiin toimintoihin, kuten lämmönsäätelyyn, kasvamiseen ja liikkumiseen. Energiansaataavuuden ollessa optimaalisella tasolla, elimistö pystyy ylläpitämään normaaleja toimintoja, mutta energiensaataavuuden vähentyessä, voi fysiologisissa toiminnoissa tapahtua muutoksia. Energiansaataavuus (EA) on käsite, joka voidaan matemaattisesti määrittää. Energiansaataavuuden vaikutuksia elimistön toimintaan pitkällä aikavälillä ei ole kuitenkaan vielä laajasti tutkittu. (Burke ym. 2018)

#### **3.1 Energiansaataavuuden määrittäminen**

Energian saannin (EI), liikunnan aikaisen energiankulutuksen (EEE) ja kehon rasvattoman massan (FFM) avulla voidaan määrittää energian saataavuus (EA). Bioenergetiikassa EA määritellään energiaksi, jonka avulla kehon eri järjestelmiä pystytään käyttämään. Urheiluravitsemuksessa energiensaataavuuden määrittämisessä painotetaan sitä, kuinka paljon urheilijalle jää niin kutsuttua jäännösenergiaa, kun energiensaannista vähennetään harjoituksen aikainen kulutus. Tarkan EA:n määrittämisessä on kuitenkin ongelmia, sillä määrittämiseen vaaditaan henkilön FFM ja EI, jotka perustuvat eri menetelmillä tehtyihin tarkkoihin ja luotettaviin mittauksiin. Kehonkoostumuksen mittauksessa käytettävään röntgenmittaukseen, joka on luotettava tapa FFM:n määrittämiseen, ei kuitenkaan ole aina resursseja. (Burke ym. 2018) Lisäksi EI:n ja EEE:n määrittämisessä voidaan havaita virheitä, mikä heikentää tarkan EA:n määrittämistä (Melin ym. 2019).

##### **3.1.1 Liian alhainen energiensaataavuus**

Energiensaanti on tärkeää, jotta elimistön fyysinen ja psyykinen suorituskyky pysyvät optimaalisella tasolla. Naisurheilijoilla on havaittu, että noin 45 kcal/kg FFM/vrk olisi riittävä EA elimistön toimintojen normaaliin ylläpitoon. EA:n laskiessa 30–45 kcal/kg FFM/vrk voidaan puhua vähentyneestä energiensaannista, jolloin elimistössä alkaa tapahtua fysiologisia muutoksia esimerkiksi hormonien toiminnassa. Kyseisellä energiamäärällä elimistön normaalit fysiologiset saadaan pidettyä yllä lyhytaikaisesti, mutta pidemmällä aikavälillä vähentynyt energiensaanti vaikuttaa negatiivisesti elimistön toimintaan. (Melin ym. 2019) On havaittu, että

naisilla EA:n ollessa  $< 30$  kcal/kg FFM/vrk, energian määrä on liian matala elimistön normaalien toimintojen ylläpitoon. Huomioitavaa on se, että kyseinen energiamäärä ei aiheuta kaikilla naisille amenorreaa eli kuukautisten poisjäämistä, joka voi olla liian alhaisen energiansaataavuuden (LEA) yksi oire. (Mountjoy ym. 2018) Kliinisissä tutkimuksissa on kuitenkin raportoitu, että jo viisi päivää kestänyt liian alhainen energiansaataavuus ( $< 30$  kcal/kg FFM/päivä) aiheuttaa naisille vakavia endokriinisia sekä metabolisia muutoksia (Melin ym. 2019).

Melinin ym. (2019) mukaan LEA:n esiintyvyys on suurta erityisesti keskipitkän- sekä pitkänmatkan juoksijoilla ja LEA on yleisempää naisjuoksijoilla verrattuna miehiin. Tarkkaa esiintyvyyttä LEA:sta urheilijoiden keskuudessa ei tiedetä, mutta arvioiden mukaan 22–58 % eri lajien urheilijoista kärsisi LEA:sta, kun otetaan huomioon sekä naiset että miehet. (Logue ym. 2020) Simin ja Burnsien (2021) mukaan LEA:n esiintyvyys on huolestuttavasti noussut, ja nuorista urheilijoista jopa 56 % miehistä ja 51 % naisista kärsisi LEA:sta. Esiintyvyyttä on kuitenkin vaikea arvioida, koska itse EA:n määrittäminen voi olla ongelmallista ja EA:n arviointiin käytetään lukuisia eri menetelmiä, mikä hankaloittaa LEA:n havaitsemista (Logue ym. 2020).

Pitkään jatkunut LEA on yhteydessä naisurheilijan oireyhtymään (Female athlete triad) sekä urheilijoiden suhteelliseen energiavajeeseen (RED-S, Relative Energy Deficiency in Sport) (McKay ym. 2020). Naisurheilijan oireyhtymässä tarkastellaan energiavajeesta aiheutunutta kuukautiskierronhäiriötä ja alentunutta luuntiheyttä (Mountjoy ym. 2018). Arvioiden mukaan 78 % nuorista naisurheilijoista täyttäisi yhden kriteerin naisurheilijan syndroomasta ja ei-urheilija naisista 65 %. (Finn ym. 2021) Naisurheilijan oireyhtymä ei kuitenkaan huomioi laajemmin, millaisia vaikutuksia LEA:lla on hormonitoimintaan ja metaboliaan, minkä vuoksi RED-S on uudemmissa tutkimuksissa käytetympi termi. RED-S ei myöskään sisällä vain LEA:n vaikutuksia naisurheilijoiden terveyteen, vaan RED-S huomioi energiavajeen vaikutukset myös miesten fysiologiaan. (Mountjoy ym. 2018)

### **3.1.2 Alhaisen energiansaataavuuden arviointi kyselyllä**

Energiansaataavuuden arvioiminen on tärkeää, jotta voidaan ennaltaehkäistä LEA:n aiheuttamia hormonaalisia sekä metabolisia häiriöitä. Kyselytutkimusten mukaan alle 50 % urheilijoiden



parissa työskentelevistä valmentajista, lääkäreistä ja fysioterapeuteista tiedostavat naisurheilijan syndrooman kolme komponenttia; LEA:n, kuukautiskierron häiriöt ja heikentyneen luuntiheyden. (Mountjoy ym. 2018) Jotta LEA:ta voitaisiin ehkäistä ja tunnistaa urheilijan mahdollinen alhainen energiansaanti, voi erilaisia kyselylomakkeita hyödyntää urheilijoiden sekä tavallisten kuntoliikkujien kanssa (Sim & Burns 2021). Urheilijat, joilla on suurempi riski liialliseen energiavajeeseen, olisi tärkeää tunnistaa varhaisessa vaiheessa, jotta pitkäaikaisilta terveysvaikutuksilta vältyttäisiin (Mountjoy ym. 2018). LEA:n vaikutukset voivat olla yksilölle hyvin laajat ja LEA:n on havaittu alentavan urheilijan suorituskykyä sekä miehillä että naisilla (Logue ym. 2020; Sim & Burns 2021)

On olemassa useita eri kyselyitä, joita voidaan hyödyntää syömishäiriöiden seulonnassa urheilijoiden parissa. Valideiksi kyselyiksi ovat osoittautuneet *Athletic Milieu Direct Questionnaire* (AMDQ), *Female Athlete Screening Tool* (FAST) ja *American Physiological Screening Test* (PST). LEA ei kuitenkaan aina tarkoita syömishäiriötä ja LEA:n havaitsemiseen on ollut vähemmän seulontatyökaluja, joissa urheilija pystyisi itse raportoimaan LEA:n fysiologisista oireista. Naisten LEA:n havaitsemiseksi ja naisurheilijan syndrooman riskin tunnistamiseksi on kehitetty LEAF-Q (Low Energy Availability in Females Questionnaire). Se on seulontatyökalu, jolla saadaan tietoa yksilön harjoittelumäärästä, vammahistoriasta, ruoansulatuskanavan toiminnasta, kuukautiskierron säännöllisyydestä tai epäsäännöllisyydestä sekä mahdollisista hormonivalmisteista, joita yksilö käyttää. Jos kyselystä saa  $\geq 8$  pistettä, on riski liian alhaiselle energiansaataavuudelle. (Melin ym. 2014) Vaikka LEAF-Q on kehitetty naisurheilijasyndrooman riskin havaitsemiseen, voidaan sitä käyttää myös syömishäiriön seulonnassa (Sim & Burns 2021).

Melinin ym. (2014) mukaan LEAF-Q:lla on hyväksyttävä herkkyys naisurheilijan oireyhtymän riskin havaitsemisessa. LEAF-Q ei kuitenkaan arvioi suoraan mahdollista LEA:ta eikä syömishäiriökäyttäytymistä tai korkeaa energiankulutusta, vaan LEAF-Q:n kysymykset perustuvat LEA:sta aiheutuvien oireiden kyselyyn, kuten esimerkiksi kuukautishäiriöihin (Sim & Burns 2021). LEAF-Q:n käytössä on siis varmistettava, että erilaiset sairaudet, jotka voivat vaikuttaa kuukautisiin, ovat kyselyyn vastaajilta suljettu pois tai hoitotasapainossa (Logue ym. 2019). Sim ja Burns (2021) mukaan LEAF-Q on kuitenkin havaittu valideimmaksi kyselyksi yhdessä EDE-Q:n (Eating Disorder Examination -Questionnaire) kanssa LEA:n määrittämiseen. Erityisesti LEAF-Q:n käyttö on validi tapa tutkia LEA:n riskiä suurissa naisurheilijaryhmissä (Melin ym. 2014). Naisurheilijoilla LEA:n seurauksena rasitusvammojen

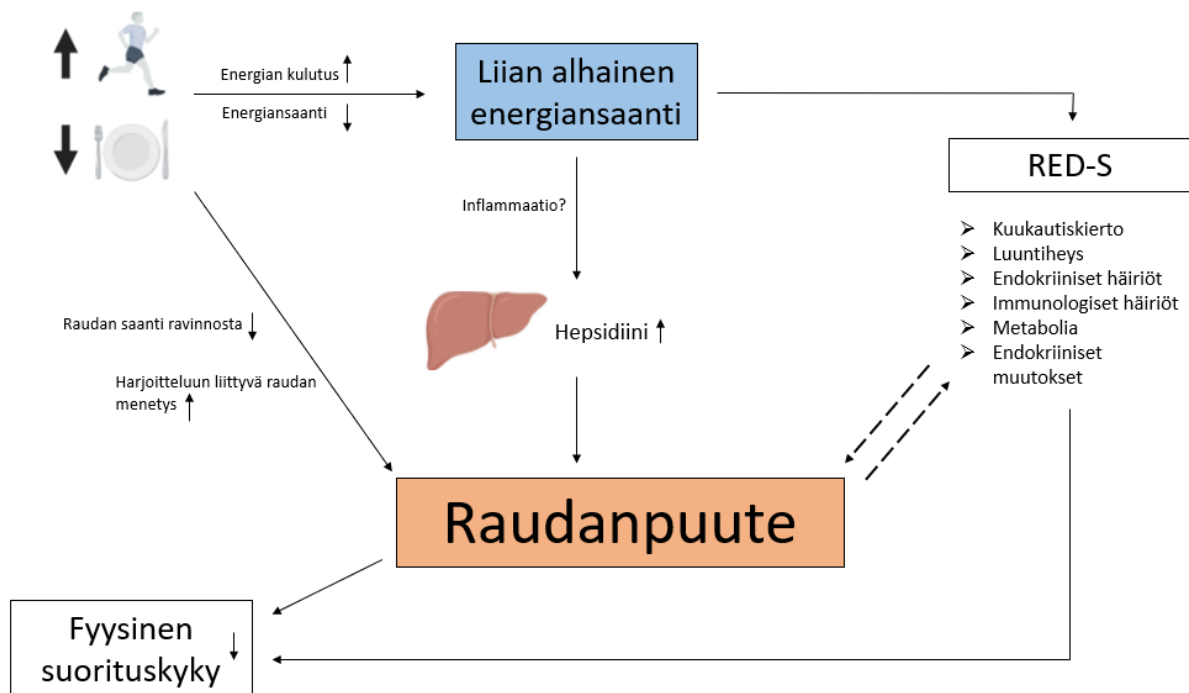
sekä erityisesti rasisurkastumien riski kasvaa (Burke ym. 2019). Muun muassa Logue ym. (2019) havaitsivat, että valtaosa naisurheilijoista, joilla oli todettu viimeisen vuoden aikana rasisurkastuma, kärsivät LEA:sta. Heikuran ym. (2017) mukaan LEAF-Q:lla voidaan tarkastella paremmin yksilöiden terveydentilaa verrattuna yksilön itseraportoituun energiansaantiin, koska LEAF-Q huomioi laajemmin LEA:sta aiheutuvia fysiologisia ongelmia.

### **3.2 Energiansaatavuuden yhteydet elimistön rautastatukseen**

Ihmisellä on rautavarastoja jo syntyessään, mutta elimistön toiminnan kannalta ihmiset ovat riippuvaisia ravinnosta saadusta raudasta (McKay ym. 2020). Uusimpien tutkimusten mukaan energian- ja raudansaanti ovat yhteydessä toisiinsa. Erityisesti naisurheilijoilla on havaittu LEA:n korreloivan heikentyneen rautastatuksen kanssa. Yhteisiä mekanismeja sekä LEA:n että heikentyneen rautastatuksen taustalla on useita. Yksinkertaisin selitys on se, että vähäinen energiansaanti vähentää hivenaineiden saantia ravinnosta, jolloin raudan saanti heikkenee. (Finn ym. 2021) On myös ajateltu, että rautastatus heikkenee LEA:n seurauksena naisurheilijoilla, koska pitkäkestoinen energiavaje näyttäisi vaikuttavan hematopoieesiin eli veren muodostukseen, jolloin punasolujen määrä vähenee ja valkosolujen määrä puolestaan kasvaa. Tällöin rautastatus heikkenee, kun punasolujen tuotanto ei ole optimaalista. (Wasserfurth ym. 2020) Ackerman ym. (2018) havaitsivat myös naisurheilijoilla tehdyssä kyselytutkimuksessa, että LEA oli yhteydessä hematologisiin toimintahäiriöihin, kuten heikentyneisiin Hb-arvoihin tai alhaisiin plasman ferritiiniin, joilla voi olla heikentäviä vaikutuksia yksilön kestävyysuorituskykyyn. LEA:n on myös havaittu pienentävän lihasten glykogeenivarastoja, jolloin suorituskyky heikentyy, koska glykogeeni on tärkeä energianlähde korkean intensiteetin urheilu suorituksissa (Kojima ym. 2020).

Hepsidiinin pitoisuuden on havaittu kasvavan urheilu suorituksen jälkeen, mutta Badenhorstin ym. (2019) mukaan maksan tuottama hepsidiinin määrä kasvaa myös, jos energiansaanti on ollut useita päiviä liian matala. LEA:ssa hepsidiinin pitoisuuden kasvu ei kuitenkaan näyttäisi johtuvan interleukiini-6 pitoisuuden kasvusta, vaan mahdollisesti metabolisista häiriöistä, jotka aiheutuvat vähäisen energian saannista. Tutkimusnäyttö LEA:n vaikutuksista hepsidiiniin urheilijoilla on kuitenkin vielä vähäistä ja tarkkaa mekanismia hepsidiinin nousulle energiavajeessa ei tiedetä. (Badenhorstin ym. 2019) Yksi tekijä, joka voi naisilla

pitkäkestoisessa energiavajeessa vaikuttaa hepsidiinin tuotantoon on estrogeeni, jonka on havaittu inhiboivan hepsidiinin ekspressiota. Estrogeenin vähentyessä myös hepsidiinin tuotanto kasvaa, jolloin raudan imeytyminen vähenee. Estrogeenin puute voi siis aiheuttaa tätä kautta rautastatukseen heikentymistä. (Petkus ym. 2017) Estrogeeni-tasojen lasku on yksi RED-S oireyhtymän komponentti (Mountjoy ym. 2018), joka voi selittää heikentyneiden rautarvojen ja alhaisen energiasaannin yhteyttä. Raudanpuutteen ja estrogeenin välistä yhteyttä urheiluvilla naisilla ei kuitenkaan ole vielä täysin ymmärretty. (Petkus ym. 2017) On kuitenkin ajateltu, että hepsidiinin pitoisuutta voitaisiin tarkastella silloin, jos yksilöllä epäillään LEA:ta. Hepsidiinin vaikutus raudan imeytymiseen ja rautastatukseen on merkittävä, mikä tulisi huomioida tarkastellessa rautastatusta. (McKay ym. 2020)



KUVA 1. Kuvassa havainnollistetaan LEA:n ja raudanpuutteen välistä yhteyttä urheilijoilla. Katkoviiva havainnollistaa raudanpuutteen mahdollista yhteyttä RED-S:issä havaittuihin terveysvaikutuksiin. (Mukailtu McKay ym. 2020)

Vaikka yksilön energiansaataavuus olisi normaalilla tasolla, voi ongelmana olla liian vähäinen raudan saanti ravinnosta. Suomalaisen ravitsemussuositusten mukaan raudan saantisuositus on fertiili-ikäisellä naisella 15 mg/vrk ja miehillä 9 mg/vrk (VRN 2014). Yhdysvalloissa suositus

naisille on puolestaan 18 mg/vrk ja raskaana oleville sekä imettäville suositellaan myös rautalisää. Kuitenkaan naisurheilijoille ei virallisesti suositella raudan lisäämistä ruokavalioon, vaikka on näyttöä siitä, että harjoittelu lisää kivennäisaineiden, kuten raudan menetystä. Arvioiden mukaan raudantarve voi olla lisääntynyt jopa 70 % naiskestävyysurheilijoilla, joka tulisi huomioida ravitsemuksessa. (Alaunyte ym. 2015) Simin ym. (2019) mukaan yleisten ravitsemussuositusten mukainen raudansaanti ei riitä tehostetuilla kestävyysurheilijoiden harjoittelujaksoilla, vaan on havaittu, että tehostettu harjoittelujakso laskee plasman ferritiinitasoa. Raudansaannin lisäksi ravitsemuksessa tulisi huomioida, missä muodossa rautaa saa ravinnosta. Rautaa on ravinnossa kahdessa eri muodossa; hemirautana ja ei-hemirautana. Hemirautaa saadaan eläinperäisistä tuotteista ja se on paremmin imeytyvää, kuin ei-hemirauta, jota saadaan kasvikunnan tuotteista. (Alaunyte ym. 2015; Sim ym. 2019) Kasvisruokavaliolla voi siis olla rautastatusta heikentävä vaikutus, ja esimerkiksi Snyder ym. (1989) havaitsivat naisjuoksijoilla tehdyssä tutkimuksessaan (n=18), että kasvisruokavaliota noudattavilla naisjuoksijoilla oli alhaisemmat plasman ferritiiniarvot (7,4 µg/l) verrattuna lihaa syöviin juoksijoihin (19,8 µg/l).

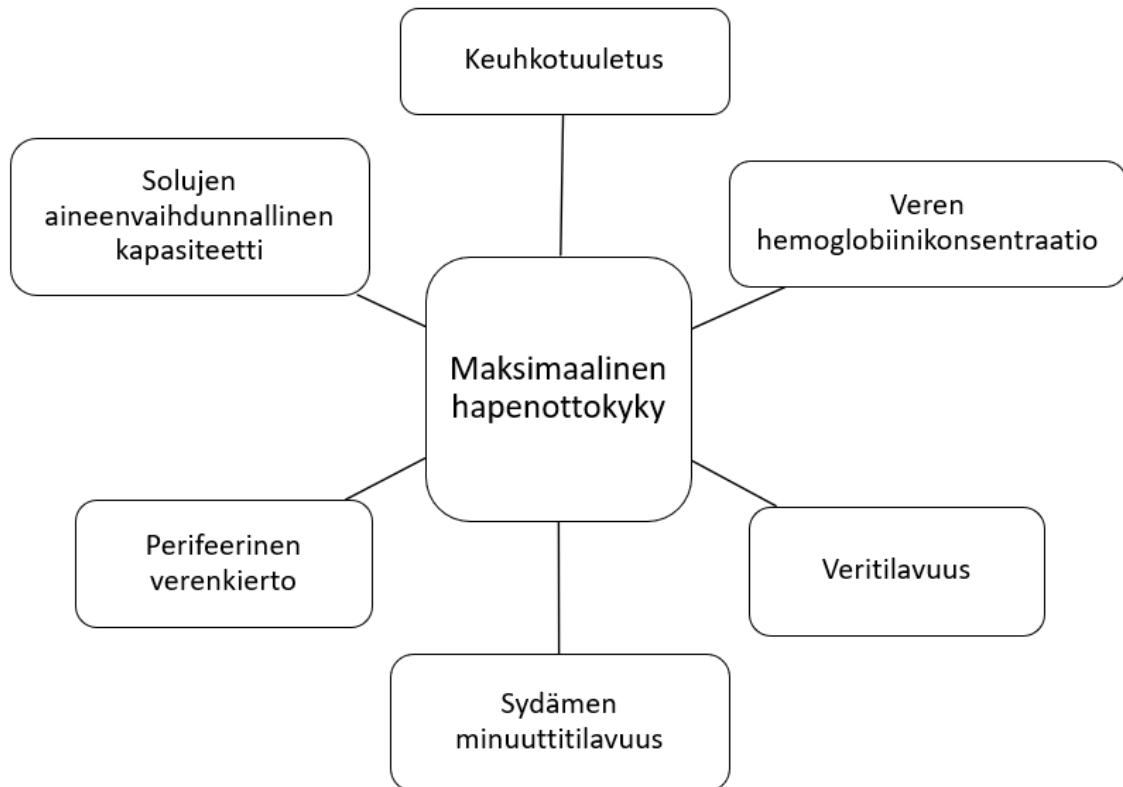
LEA:ta on naisilla tutkittu pääosin urheilijoilla eikä tavallisilla kuntoliikkujilla, koska urheilijat ovat suuremmissa riskissä LEA:lle verrattuna tavallisiin kuntoliikkujiin (Sim & Burns 2021). Tämän vuoksi LEA:n vaikutuksia elimistön rautastatukseen ei-urheilijoilla tunnetaankin melko vähän. Yhteenvetona voidaan todeta, että LEA:n on havaittu heikentävän naisurheilijoiden rautastatusta, koska LEA:ssa raudan saanti ruoasta on vähäistä ja punasolujen tuotanto epänormaalia (Ackerman ym.; Finn ym. 2021; Wasserfurth ym. 2020). Lisäksi korkeat hepsidiini-pitoisuudet heikentävät raudan imeytymistä, mutta sen yhteydestä LEA:han tarvitaan vielä runsaasti lisää tutkimustietoa (Badenhorstin ym. 2019).

## 4 KESTÄVYSSUORITUSKYKY

Kestävyysuorituskyky on ominaisuus, johon vaikuttavaa sydän- ja verisuonielimistön yhteistoiminta (Hynynen 2016, 117–127). Bassettin ja Howlayn (2000) mukaan on kolme tekijää, jotka vaikuttavat yksilön kestävyysuorituskykyyn; maksimaalinen hapenotto (VO<sub>2</sub>max), kyky työskennellä pitkään lähellä maksimaalista hapenottoa ja kestävyysuorituksen taloudellisuus. Kestävyysuorituskykyä tarvitaan erityisesti urheilulajeissa, joissa suoritukset kestävät vähintään kaksi minuuttia tai lajeissa, joissa toistuu tehokkaita ja lyhyitä työjaksoja pidemmän ajan suorituksessa (Nummela & Häkkinen 2016, 272). Kestävyysuorituskyvyn kannalta tärkein muuttuja on VO<sub>2</sub>max, joka on suoraan yhteydessä sydämen minuuttitilavuuteen eli verimäärään, jonka sydän kykenee minuutissa pumppaamaan elimistöön (Hynynen 2016, 117–127).

### 4.1 Maksimaalinen hapenotto

Maksimaalinen hapenotto (VO<sub>2</sub>max) on yksi keskeisimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa yksilön kestävyysuorituskykyyn. VO<sub>2</sub>max:lla kuvataan elimistön maksimaalista kykyä ottaa elimistöön happea ja hyödyntää sitä raskaassa fyysisessä suorituksessa. (Bassett & Howley 2000) VO<sub>2</sub>max:in tasoon vaikuttavat useat eri fysiologiset tekijät (Kuva 2). Keuhkotuuletus, veren hemoglobiinikonsentraatio, veritilavuus, sydämen minuuttitilavuus, perifeerisen verenkierron toiminta ja solujen aineenvaihdunnallinen kapasiteetti ovat olennaisimpia tekijöitä, jotka vaikuttavat VO<sub>2</sub>max:iin sekä joissain tilanteissa rajoittavat sen kehittymistä. (McArdle ym. 2015, 166) Edellä mainitut tekijät voidaan Bassettin ja Howlayn (2000) mukaan jakaa sentraalisiin ja perifeerisiin fysiologisiin tekijöihin. Sentraalisiksi tekijöiksi luokitellaan keuhkojen diffuusiokapasiteetti, sydämen minuuttitilavuus ja veren hapenkuljetuskyky. Perifeeriseksi tekijäksi luokitellaan puolestaan luustolihasten erilaiset ominaisuudet.



KUVA 2. Fysiologiset tekijät, jotka vaikuttavat maksimaaliseen hapenottokykyyn.

VO<sub>2</sub>max:iin vaikuttaa siis hapen kuljetuskyky sydän- ja verisuonielimistössä sekä työtä tekevien lihasten hapenkäyttökyky (Nummela 2017). Tekijöistä, jotka rajoittavat VO<sub>2</sub>max:ia ei kuitenkaan ole löydetty yhteneväistä näkemystä. (Savonen ym. 2015) Bassettin ja Howleyn (2000) mukaan lihasten hapenkäyttökyky ei ole pääasiallinen VO<sub>2</sub>max:ia rajoittava tekijä, vaan suurimmat tekijät, jotka rajoittavat tai lisäävät VO<sub>2</sub>max:ia liittyvät sydämen minuuttitilavuuteen sekä veren volyymiin. Suuri minuuttitilavuus on yhteydessä parempaan VO<sub>2</sub>max:iin (Savonen ym. 2015) ja erityisesti veren volyymien kasvaessa hapen kuljetuskapasiteetti veressä paranee, mikä nostaa VO<sub>2</sub>max:ia (Bassett & Howley 2000). Mikäli veren volyymi ja erityisesti veren hemoglobiinin määrä laskee, on sillä vaikutusta hapenkuljetuskapasiteettiin ja tätä kautta laskee VO<sub>2</sub>max:ia (McArdle ym. 2015, 278). Veren hemoglobiinipitoisuus kuvaa kuitenkin Hb:n suhteellista määrää litrassa verta, jolloin ei oteta huomioon veren koko tilavuutta. Tämän vuoksi Hb-pitoisuus on itsessään heikko mittari kuvaamaan veren hapenkuljetuskapasiteettia. (Nummela 2017)

VO<sub>2</sub>max -tuloksissa on eroja yksilöiden välillä. Yksi tekijä, joka vaikuttaa VO<sub>2</sub>max -tulokseen on yksilön säännöllisen fyysisen aktiivisuuden taso, mutta tämän on havaittu vaikuttavan vain

kohtalaisesti VO<sub>2</sub>max:in yksilöiden välisiin eroavaisuuksiin. Yksi keskeinen tekijä, jonka on havaittu vaikuttavan VO<sub>2</sub>max:iin, on perinnöllisyys. On arvioitu, että perinnöllisyydellä olisi 72 prosentin osuus, kun VO<sub>2</sub>max on suhteutettu kehonpainoon. (Schutte ym. 2016) Lisäksi harjoittelemattomilla henkilöillä VO<sub>2</sub>max:iin on havaittu vaikuttavan myös sukupuoli, paino, pituus, yksilön fyysinen aktiivisuus sekä mahdollinen tupakointi (Hulkkonen ym. 2014). Kestävyysharjoittelulla voidaan kuitenkin kehittää VO<sub>2</sub>max:imia ja Monteron ja Díaz-Cañestron (2016) mukaan VO<sub>2</sub>max kehittyy pääosin sydämen iskutilavuuden kasvun ja tätä kautta minuuttitilavuuden paranemisen vuoksi.

#### **4.1.1 Energia-aineenvaihdunta kestävyysuorituksessa**

Jotta erilaiset elimistön biologiset toiminnot saadaan turvattu, tarvitsee elimistö kemiallista energiaa, jota saadaan ravinnosta. Ravinnosta saatu energia siirretään elimistössä erilaisissa kemiallisissa reaktioissa solujen hyödyntämään adenosiinitrifostaattiin (ATP). Lihaksilla on kolme pääreittiä, joiden avulla ATP:tä tuotetaan; fosfokreatiinivarastot, anaerobinen glykolyysi sekä aerobinen tuottotapa. (Nummela 2016, 128–129) Lyhyissä maksimissaan kymmenen sekunnin mittaisissa fyysisissä suorituksissa energiaa saadaan lihaksen välittömistä energianlähteistä eli lihaksen varastoituneesta ATP:stä ja fosfokreatiinistä. Lihaksen ATP ja fosfokreatiinivarastoja käytetään energianlähteenä esimerkiksi 100-metrin juoksussa tai painnostossa. (McArdle ym. 2015, 162) Myös alle 10 sekunnin intervallityyppisissä urheilusuorituksissa fosfokreatiinin merkitys kasvaa ja noin 30 sekunnin palautumisen jälkeen fosfokreatiinivarastot ovat palautuneet 50 % tasolle lähtötasosta, kun taas kahden minuutin palautumisen jälkeen varastot ovat 85 % lähtötasosta. (Nummela 2016, 134).

Kun urheilusuoritus kestää yli kaksi minuuttia, kasvaa anaerobisen glykolyysin sekä aerobisen energiantuoton rooli energiantuotossa (Nummela 2016, 131). Solun sytoplasmassa tapahtuvassa anaerobisessa glykolyysissä energiantuotossa hyödynnetään glukoosia sekä lihaksen varastoitua glykogeeniä. Glykolyysi on 10 kemiallisen reaktion tapahtumasarja, jossa glukoosi tai glykogeeni hapetetaan pyruvaatiksi. Tämän jälkeen pyruvaatti hapetetaan maitohapoksi, joka luovuttaa vetyionin ja näin muuttuu laktaatiksi. Glykolyysissä pystytään hyödyntämään vain 5 % glukoosin sisältämästä energiasta (Nummela 2016, 129) ja glykolyysissä vapautuu siis vetyioneja, jotka raskaassa suorituksessa nostavat lihaksen happamuutta. (McArdle ym. 2015, 141–146) Mikäli urheilusuoritus on matalatehoisempi ja

pitkäkestoisempi, energiaa tuotetaan pääosin aerobisesti eli hapen avulla. Aerobisessa energiantuotossa osa glykolyysissä muodostuneesta pyruvaatista osa muutetaan asetyylikoentsyymi-A:ksi. Mitokondrioon siirretty asetyylikoentsyymi-A pilkotaan sitruunahappokierrossa eli Krebsin syklissä hiilidioksidiksi ja vedyksi. Vetyatomit kulkeutuvat viimeiseen vaiheeseen eli elektroninsiirtoketjuun, jossa vetyatomien hapetuksen avulla muodostuu ATP:tä ja vettä. (Nummela 2016, 130)

Aerobisessa energiantuotossa pystytään hyödyntämään myös elimistön rasvavarastoja. Rasva varastoituu elimistön rasva- ja lihaskudokseen triglyserideinä. Noradrenaliinin, adrenaliinin, glukagonin sekä kasvuhormonin aktivoiman lipaasientsyymien avulla triglyseridit hajotetaan glyseloriksi sekä rasvahapoiksi. Glyseroli pystytään hyödyntämään glykolyysissä, mutta rasvahapot siirtyvät betaoksidointiin, jossa muodostuu jälleen vetyä, jota hyödynnetään elektroninsiirtoketjussa ATP:n tuottoon. (McArdle ym. 2015, 152–154) Kyseisissä reaktioissa voidaan saada noin 12 kertainen määrä energiaa yhdestä triglyseridistä verrattuna glukoosimolekyylisiin. Rasvan käyttö energiantuotossa on suurimmillaan urheilusuorituksissa, joiden kesto on yli kaksi tuntia. Rasvavarastojen etu onkin niiden runsas energian määrä, mutta ongelmana on hidas energiantuottonopeus. On huomioitava, että myös matalatehoisissa kestävyystyypissä suorituksissa energiaa tuotetaan aluksi anaerobista energiantuottoa happivajeen vuoksi. Suorituksen intensiteetti ja yksilön  $VO_2\text{max}$ -taso vaikuttavat siihen, kuinka suuri happivaje on. (Nummela 2015, 130–131) Kun matalatehoisessa suorituksessa hapenkulutus tasaantuu, voidaan puhua niin sanotusta steady-rate-tilasta, jolloin energiaa tuotetaan pääosin aerobisesti (McArdle ym. 2015, 164).

#### **4.1.2 Hengitysosamäärä**

Suorassa maksimaalisessa hapenottokykytestissä, testattavalta analysoidaan hengityskaasujen muuttujia, kuten esimerkiksi hapen kulutusta ja hiilidioksidin tuottoa. Hengitysosamäärä (RER) kertoo siitä, kuinka paljon hiilidioksidia tuotetaan hapenkulutukseen nähden. (McArdle ym. 2015, 183–189; Laaksonen 2020) RER-arvon sijasta kirjallisuudessa käytetään myös RQ-arvoa (Respiratory quotient), joka kertoo hengitysosamäärästä solutasolla, mutta käytännössä RER- ja RQ-arvot kuvaavat samaa muuttujaa. RER-arvon avulla voidaan arvioida, käytetäänkö energianlähteenä rasvoja vai hiilihydraatteja. Elimistön käyttäessä energianlähteenä ainoastaan rasvoja, on RER-arvo 0,7. RER-arvon noustessa kuormituksen aikana, hiilihydraatteja



käytetään enemmän hyödyksi energianlähteenä. Kun RER-arvo nousee yhteen, elimistö ei enää hyödynnä rasvoja energianlähteenä, vaan energiantuotto tapahtuu hiilihydraattien avulla. (McArdle ym. 2015, 183–189) Devriesin (2016) mukaan naisilla olisi miehiä matalampi RER-arvo kohtalaisen kuormittavassa kestävyysuorituksessa, mikä kertoisi siitä, että naiset olisivat vähemmän riippuvaisia hiilihydraattien avulla tuotetusta energiasta. Tutkimustulokset ovat kuitenkin osin ristiriitaisia, ja naisten kohdalla tulisi myös huomioida kuukautiskierron vaihe, sillä naishormonit voivat vaikuttaa lihaksen glykogeenin käyttöön harjoituksen aikana.

## **4.2 Rautastatuksen vaikutukset kestävyysuoritukseen**

Heikon rautastatuksen vaikutuksia fyysiseen suorituskäyttöön on tutkittu laajasti. Heikentynyttä rautastatusta voidaan havaita erityisesti urheilijoilla ja muilla fyysisesti aktiivisilla ihmisillä, sillä fyysinen aktiivisuus vaikuttaa raudan homeostaasin elimistössä. (McClung 2019) Raudalla on tärkeä rooli luustolihasoptimaalisessa toiminnassa ja noin 10–15 % kehon raudasta sijaitsee luustolihasissa. (Stugiewicz ym. 2016). Useissa tutkimuksissa on todettu, että alhaisilla Hb-arvoilla on heikentäviä vaikutuksia maksimaaliseen hapenotto- ja aerobiseen kapasiteettiin ja yleiseen fyysiseen suorituskäyttöön, koska hapen kuljetus elimistössä on huonontunut (McClung 2019). Ihmisillä tehtyjen tutkimusten mukaan vakava ja kohtalainen anemia vaikuttavat heikentävästi erityisesti  $VO_{2max}$ -tulokseen. Vakavassa anemiassa  $VO_{2max}$ -tulos voi olla alentunut jopa 50 % normaalista ei-aneemisestä elimistön tilasta. (Haas & Brownlie 2001)

Sekä eläin- että ihmiskokeissa on havaittu, että myös IDWA muuttaa energia-aineenvaihduntaa ja voi vaikuttaa fyysiseen suorituskäyttöön (Dellavalle & Haas 2012). Tutkimuksissa on kuitenkin ristiriitaisuutta siitä, onko IDWA:lla vaikutusta kestävyystyyppiseen urheilusuoritukseen, sillä IDWA:n ei oltu havaittu vaikuttavan negatiivisesti hapenkuljetuskapasiteettiin elimistössä (Rubeor ym. 2018; McClung 2019). On kuitenkin näyttöä siitä, että heikentynyt rautastatus laskee luurankolihasmyoglobiinipitoisuutta, ja tätä kautta vaikuttaa heikentävästi hapen kuljetukseen lihaksen sisällä. Myoglobiinin laskun lisäksi on huomattu, että IDWA:ssa henkilöt kokevat poikkeavaa lihasväsymystä fyysisen suorituksen aikana. (McClung 2019) IDWA näyttäisi vaikuttavan raudasta riippuvien oksidatiivisten entsyymien sekä elektroninsiirtoketjussa toimivien raudasta riippuvaisten proteiinien

toimintaan ja saattaa aiheuttaa niiden toimintaan häiriöitä. Taulukossa 2 on esitetty proteiineja, joissa rauta on keskeisenä tekijänä.

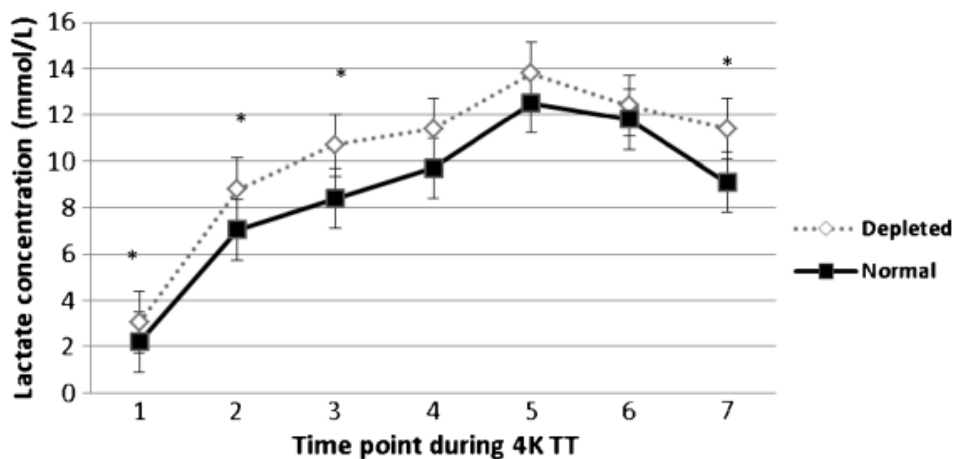
TAULUKKO 2. Rautaa sisältävät yhdisteitä, jotka osallistuvat energiantuottoon (mukailtu Haas & Brownlie 2001)

Proteiinin nimi	Proteiinin sijainti	Tärkeimmät biologiset toiminnot energiantuotossa
Hemoglobiini	Punasolu	Hapen kuljetus
Myoglobiini	Lihassolujen sytoplasma	Auttaa hapen diffuusiota mitokondrioihin
Oksidatiiviset entsyymit, kuten dehydrogenaasi	Mitokondrioiden sisäkalvo ja matriisi	Substraatin (asetyyli-CoA) hapetus NADH:n ja FADH <sub>2</sub> tuottamiseksi
Elektroninsiirtoketjun proteiinit, kuten sytokromit	Mitokondrion sisäkalvo	Elektronien (sähkökemiallisen energian) siirtomuoto happimolekyylita NADH:ksi tai FADH <sub>2</sub> :ksi

Kun kudosten oksidatiivinen kapasiteetti heikkenee, vaikuttaa se negatiivisesti kestävyysuoritukseen. (McClung 2019; Rubeor ym. 2018) Brownlien ym. (2002) tekemässä tutkimuksessa tutkittiin, millaisia muutoksia aerobisessa kapasiteetissa tapahtui neljän viikon kestävyysharjoittelujaksolla naisilla, jotka kärsivät IDWA:sta. Kyseisessä tutkimuksessa IDWA määriteltiin niin, että koehenkilöiden plasman ferritiinin tuli olla < 16 µg/l ja hemoglobiinin > 120 g/l. Tutkimukseen osallistui 41 premenopausaali-ikäistä naista, jotka jaettiin koe- ja kontrolliryhmään. Jokaiselle koehenkilölle tehtiin maksimaalinen hapenottokykytesti ja verikokeista katsottiin muun muassa Hb, plasman ferritiini ja TfR. Koeryhmä söi harjoittelujakson ajan rautalisää (8 mg rautaa) kahdesti päivässä ja kontrolliryhmä söi placebotabletteja. Interventiojakson jälkeen havaittiin, että VO<sub>2</sub>max -tulos oli parantunut merkitsevästi enemmän koehenkilöryhmän naisilla verrattuna kontrolliryhmän naisiin, joilla oli ennen rautakuurin alkua korkeat TfR-arvot (> 8.0 mg/l). Johtopäätöksenä oli,

että IDWA:lla on vaikutuksia maksimaaliseen hapenottokykyyn, mikäli rautastatus on heikentynyt sille tasolle, että TfR on poikkeavasti koholla. Hapenottokyvyn kannalta tutkimustulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia IDWA:n kohdalla, kun taas anemian heikentävistä vaikutuksista hapenottokykyyn näyttöä on enemmän (McClung 2019).

Dellavalle ja Haas (2012) tutkivat, millaisia vaikutuksia IDWA:lla on naissoutajien kestävyysuorituskykyyn ja harjoittelumäärään. Tutkimuksessa (n=165) tarkasteltiin maksimaalista hapenottokykyä ja 4-kilometrin soudun tuloksia sekä IDWA:sta kärsivillä naisilla että normaalin rautastatuksen omaavilla naissoutajilla. Tutkimuksessa IDWA:n rajana oli, että koehenkilön plasman ferritiini < 20 µg/l ja Hb oli viitearvoissa. Tuloksissa havaittiin, että IDWA:sta kärsivien naissoutajien päivittäiset harjoitukset kestivät noin 11 minuuttia vähemmän, kuin testattavilla, joiden rautastatus oli normaali (57,9 ± 9,2 vs. 68,8 ± 21,0 min/pv). Maksimaalisessa sykkeessä ei havaittu eroja, mutta IDWA-ryhmällä oli absoluuttinen tulos merkitsevästi matalampi (3,4 ± 0,4 vs. 3,1 ± 0,4 l/min, p= 0,03). Neljän kilometrin soudun aikana havaittiin myös, että IDWA-ryhmällä oli merkitsevästi korkeammat laktaattiarvot (Kuva 3). Tutkimuksen mukaan erot maksimaalisessa hapenottokyvyssä eivät välttämättä suoraan johdu heikentyneestä rautastatuksesta, vaan siitä, että heikentyneen rautastatuksen omaavat urheilijat eivät pysty harjoittelemaan yhtä kovalla intensiteetillä, mitä normaalin rautastatuksen omaavat yksilöt.



KUVA 3. Kuvaajassa naissoutajien laktaattikonsentraatioerot 4-kilometrin soudussa. Katkoviiva kuvastaa heikentyneen rautastatuksen omaavia soutajia ja musta viiva normaalin rautastatuksen omaavia soutajia. (Dellavalle & Haas 2012)

Rautastatuksen heikentyessä, voidaan hoitona käyttää oraalista rautalisää, jonka on tarkoitus nostaa Hb-pitoisuus normaalille tasolle, tai IDWA:ssa täyttää ehtyneet rautavarastot (Rajamäki & Punnonen 1998). Hinton ja Sinclair (2007) tutkivat, miten kuuden viikon oraalinen rautalisäkuuri vaikutti rautastatukseen ja kestävyyskapasiteettiin fyysisesti inaktiivisilla naisilla (n=17) sekä miehillä (n=3). Tutkimuksessa IDWA oli määritetty niin, että plasman ferritiini tuli olla  $< 16 \mu\text{g/l}$ , TfR  $> 8,0 \text{ mg/l}$  ja Hb-arvot naisten ja miesten viitearvoissa. Koehenkilöt jaettiin koe- ja kontrolliryhmään, joista koeryhmän henkilöt söivät kuuden viikon interventiojakson ajan 30 mg:n rautalisää kerran päivässä ja kontrolliryhmä placebotabletteja. Jokainen tutkimukseen osallistunut koehenkilö suoritti maksimaalisen hapenottokykytestin sekä 60 minuutin submaksimaalisen testin (60 %  $\text{VO}_2\text{max}$ :ista) polkupyöräergometrilla ennen ja jälkeen kuuden viikon interventiojakson. Interventiojakson aikana koehenkilöitä ohjattiin ylläpitämään fyysistä aktiivisuutta samalla tasolla, mitä ennen interventiota, eikä koe- ja placeboryhmän välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa fyysisessä aktiivisuudessa interventiojakson aikana. Interventiojakson jälkeen tehdyissä testeissä ei kuitenkaan havaittu merkitsevää eroa absoluuttisessa tai kehon painoon suhteutetussa  $\text{VO}_2\text{max}$  -tuloksissa. Tarkastellessa koko koehenkilöjoukkoa havaittiin negatiivinen korrelaatio plasman ferritiinin ja RER-arvon välillä; plasman ferritiinin noustessa maksimaalinen RER-arvo laski 60-minuutin submaksimaalisessa testissä. Löydös tukee teoriaa siitä, että rautastatuksen paraneminen lisää luustolihasen oksidatiivista kapasiteettia ja tätä kautta parantaa myös kestävyysuorituskykyä. (Hinton & Sinclair 2007) Myös Brownlie ym. (2000) havaitsivat RER-arvon ja plasman ferritiinin välillä negatiivisen yhteyden kuuden viikon oraalisen rautalisän käytön jälkeen. Tutkimustietoa rautastatuksen yhteydestä RER-arvoihin on kuitenkin tutkittu naisilla melko vähän.

Yhteenvetona voidaan todeta, että hemoglobiinin laskiessa rautastatus heikentyy ja sillä negatiivisia vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn, joka voidaan havaita  $\text{VO}_2\text{max}$ -tuloksessa (Hinton ym. 2000; McArdle ym. 2015, 278). Jos rautastatus on puolestaan heikentynyt ilman hemoglobiinin laskua, on tällä silti vaikutusta kestävyysuorituskykyyn heikentävästi, koska elimistön oksidatiivinen kapasiteetti on heikentynyt (Hinton & Sinclair 2007; McClung 2019). Tutkimustulokset heikentyneen rautastatuksen vaikutuksista kestävyysuorituskykyyn ovat kuitenkin vielä ristiriitaisia (Rubeor ym. 2018) ja erityisesti siltä osin, minkä tasoinen IDWA vaikuttaa fyysiseen suorituskykyyn (Brownlie ym. 2002).

## 5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT

Tutkimuskysymykset:

1. Onko rautastatuksella yhteyttä maksimaalisen hapenottokyvyn muuttujiin?

**Hypoteesi:** Kyllä. Heikomman rautastatuksen omaavilla koehenkilöillä, VO<sub>2</sub>max on matalampi, mikäli hemoglobiini on viitearvojen alapuolella (< 117 g/l) (Haas & Brownlie 2001; McClung 2019). Koehenkilöillä, joilla hemoglobiini on normaali (117–155 g/l) (Tunturi 2022), mutta rautastatus on heikentynyt niin, että ferritiiniarvot ja punasoluindekseistä E-MCV sekä E-MCH ovat viitearvojen alapuolella, on korkeammat laktaattiarvot maksimaalisessa hapenottokykytestissä (Brownlie ym. 2002; McClung 2019; Rajamäki & Punnonen 1998).

2. Onko rautastatuksella yhteyttä energiansaataavuuden kanssa?

**Hypoteesi:** Kyllä. Koehenkilöillä, jotka saavat  $\geq 8$  pistettä LEAF-Q- kyselystä, on heikompi rautastatus, koska alentunut energiansaataavuus haittaa hivenaineiden, kuten raudan saantia ravinnosta (Finn ym. 2021; Melin ym. 2014). Alhaisen energiansaataavuuden on havaittu lisäävän hepsiidinin tuotantoa, joka heikentää raudan imeytymistä ravinnosta, minkä vuoksi rautastatus heikkenee. (Badenhorst ym. 2019; Sinisalo & Collin 2016).

3. Onko maksimaalisen hapenottokykytestin muuttujilla yhteyttä energiansaataavuuden kanssa?

**Hypoteesi:** Kyllä. VO<sub>2</sub>max on alhaisempi niillä koehenkilöillä, joilla LEAF-Q- kyselyn pisteet ovat  $\geq 8$ , koska pitkään jatkunut energiavaje vaikuttaa punasolujen tuotantoon negatiivisesti ja alentaa seerumin ferritiiniarvoja (Ackerman ym. 2018; Wasserfurth ym. 2020), jolloin oksidatiivinen kapasiteetti heikkenee ja kestävyysuorituskyky laskee (McClung 2019; Rubeor ym. 2018). Lisäksi alhainen energiansaataavuus pienentää lihasten glykogeenivarastoja, joka vaikuttaa heikentävästi lihasten energiantuottoon, ja laskee VO<sub>2</sub>max:ia (Kojima ym. 2020).

## 6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty kahdesta eri tutkimuksesta; Jyväskylän yliopiston tutkimusprojektista MEndEx- ja NaisQs- tutkimuksista. MEndEx-tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia kuukautiskierron vaikutuksia fyysiseen suorituskäyttöön ja kuukautiskierron yhteyksiä energiansaataavuuteen. NaisQs-tutkimuksessa tarkoituksena oli selvittää, millaisia vaikutuksia kuukautiskierron mukaan jaksotetulla kestävyysharjoittelulla on muun muassa fyysiseen kuntoon, kardiometaboliseen terveyteen ja hormonipitoisuuksiin. Molemmissa tutkimuksissa koehenkilöinä oli eumenorrisia naisia sekä hormonaalista ehkäisyä käyttäviä naisia. Molemmilla projekteilla oli Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto.

### 6.1 Tutkittavat

Tämän työn tutkittavat koostuvat Nais-Qs-projektin sekä MEndEx- projektin koehenkilöistä. Tutkimuksessa tarkasteltiin 19 koehenkilöä, jotka olivat 18–35-vuotiaita perusterveitä naisia. Tutkittavat olivat eumenorrisia eli heillä oli normaali kuukautiskierto eikä heillä ollut käytössä hormonaalista ehkäisyä. Tutkittavien taustatiedot on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Tutkittavien taustatiedot (n =19).

	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Rasvaprocentti	BMI (kg/ m <sup>2</sup> )
Keskiarvo	28,5	167,4	66,8	23,3	25,9
Keskihajonta	± 5,1	± 4,7	± 8,4	± 7,7	± 8,2

Koehenkilöt rekrytoitiin Jyväskylän yliopiston yleisten sähköpostilistojen, liikuntatieteellisen eri tieteenalojen sekä sosiaalisen median kautta. Tutkittavia informoitiin tutkimusten tarkoituksesta ja tutkimusten etenemisestä. Tutkittavat saivat tietoa tutkimusten hyödyistä sekä mahdollisista haittavaikutuksista. Tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeet ennen tutkimuksien alkamista ja tutkittavilla oli oikeus keskeyttää tutkimukset missä vaiheessa tahansa tutkimusta.

## 6.2 Tutkimusasetelma

Tämä tutkimus oli poikkileikkaustutkimus, jossa aineisto kerättiin NaisQs-tutkimusprojektissa syksyllä 2022 ja MEndEx-tutkimusprojektissa vuoden 2019 aikana. Kaikilta tutkittavilta otettiin perusverenkuva, joka sisälsi hemoglobiinin (Hb) ja punasoluindeksien määrittämisen. Lisäksi verinäytteellä selvitettiin seerumin ferritiinipitoisuus (S-Ferrit). Verinäytteet otettiin tutkimuksessa paastotilassa aamulla ennen suorituskykytestejä. Suora hapenottokykytesti tehtiin samana päivänä verinäytteiden ottamisen jälkeen normaalissa ravitsemustilassa. LEAF-Q kyselyä hyödynnettiin tutkittavien energiansaataavuuden arvioinnissa.

## 6.3 Aineiston keruu

*Verinäytteet.* Tutkittavilta otettiin kyynärlaskimosta verinäytteet aamulla paastotilassa klo 6.00–9.00 välisenä aikana. Verinäytteet otti laboratoriteknikko tai sairaanhoitaja ja laskimoverinäytteitä sentrifugoitiin 2500 g:n voimalla 10 minuuttia (Megafugr 1.0R, Heraeus, Saksa) minkä jälkeen näytteet säilöttiin -80 °C:een odottamaan analyysia. Laskimoverinäytteistä analysoitiin Hb, S-Ferrit ja punasoluindeksit (E-MCV, E-MCH, E-MCHC ja E-RDW).

*Suora hapenottokykytesti.* Suorat hapenottokykytestit tehtiin Jyväskylän yliopiston laboratoriossa. NaisQs-projektissa testiprotokollana käytettiin niin kutsuttua nopeusmallia, jossa tutkittava juoksi tai käveli juoksumatolla (OJK-1, Telinyhtymä, Kotka, Suomi) kolmen minuutin kuormia ja intensiteetti nousi portaittain. Testin alussa juoksumaton nopeus oli 6 km/h ja nopeus lisääntyi 1 km/h jokaisella kuormalla. Juoksumaton kulma oli 1° koko testin ajan. Testiä jatkettiin koehenkilön uupumukseen asti tai siihen asti, kunnes tutkittava halusi lopettaa testin. Hapenottokykytestissä käytettiin hengityskaasuanalysointia (Vyntus CPX, Vyaire Medical GmbH, Hoechberg, Saksa), jolla mitattiin hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa, hengitysosamäärää ja ventilaatiota. Testin aikana mitattiin ja analysoitiin jokaista hengityssykliä (breath-by-breath toiminto). Testin lopuksi VO<sub>2</sub>max määritettiin pyöristäen testin kahden suurimman peräkkäisen 30 sekunnin hapenkulutuksen arvon keskiarvo alaspäin lähimpään tasalukuun.

MEndEx-projektissa juoksumaton kulma oli koko testin ajan  $0,5^\circ$  ja juoksumaton nopeus oli 6 km/h testin ensimmäiset kolme minuuttia. Nopeus kasvoi kolmen minuutin välein 1 km/h ja testi jatkui koehenkilön uupumukseen asti. Hengityskaasuanalysaattorilla (Oxycon Mobile R, Jaeger, Hoechberg, Germany) mitattiin hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa, hengitysosamäärää ja ventilaatiota breath-by-breath toimintoa käyttäen. Analysoinnissa käytettiin jokaisen kuormitustason viimeisen 30 sekunnin keskiarvoa.  $VO_2\text{max}$  määritettiin korkeimpana 30 sekunnin keskiarvona.

Molemmissa tutkimusprojekteissa laktaattinäytteet otettiin kapillaariin sormenpääverinäytteestä ennen  $VO_2\text{max}$ -testiä sekä jokaisen kuorman jälkeen, jolloin juoksumatto pysäytettiin näytteen ottamisen ajaksi. Lisäksi näytteet otettiin heti testin päätyttyä sekä vielä yhden ja kolmen minuutin kuluttua testin päättymisestä. Testin jälkeen näytteet analysoitiin laktaattianalysaattorilla (Biosen C-Line Clinic, EKF Diagnostics, Madgeburg, Saksa).

*LEAF-Q kysely.* Tässä tutkimuksessa energiansaatavuutta arvioitiin suomennetun LEAF-Q kyselyn avulla (liite 1). LEAF-Q kyselyllä voidaan selvittää kuukautiskierron säännöllisyyttä, suoliston toimintaa, vammahistoriaa sekä hormonilääkitystä, kuten esimerkiksi ehkäisytablettien käyttöä. LEAF-Q ei siis suoraan arvioi tutkittavan energiansaatavuutta tai energiankulutusta. Kysely on kuitenkin todettu validiksi tutkimustavaksi LEA:n riskin havaitsemisessa naisurheilijaryhmissä ja kyselyn pisteiden ollessa  $\geq 8$  on naisurheilijaoireyhtymän riski kasvanut (Melin ym. 2014). LEAF-Q kyselyihin koehenkilöt vastasivat tutkimusprojektien rekrytointivaiheessa omalla ajallaan ja kyselyyn vastattiin Webropol- kyselyjärjestelmässä.

#### **6.4 Tilastolliset analyysimenetelmät**

Aineisto taulukoitiin Microsoft Excel 16.43 -ohjelmalla. Tutkimustulokset analysoitiin anonymisti ja tilastollinen analyysi suoritettiin IBM SPSS Statics Version 28- ohjelmalla. Muuttujien normaalijakaumat tarkastettiin käyttämällä Shapiro–Wilkin testiä, koska otoskoko oli pieni ( $n= 19$ ). Lisäksi normaalijakaumaa tarkasteltiin katsomalla muuttujien vinoutta sekä huipukkuutta ja aineisto havaittiin noudattavan normaalijakaumaa. Normaalijakauman vuoksi



päädettiin käyttämään Pearsonin korrelaatiokerrointa ja tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin  $p < 0,05$ .

## 7 TULOKSET

Taulukossa 4 on esitetty aineiston kaikkien muuttujien keskiarvot sekä keskihajonnat. Aineistossa yhdellä tutkittavalla Hb oli viitearvojen alapuolella (Hb < 117 g/l) ja kahdeksalla S-Ferrit oli viitearvojen alapuolella (S-Ferrit < 30 µg/l). Näistä neljällä S-Ferrit oli selkeästi alentunut (S-Ferrit < 15 µg/l). Jokaisella koehenkilöllä MCH- ja MCV-arvot olivat kuitenkin viitearvoissa (MCH = 27–33 pg, MCV = 82–98 fl).

TAULUKKO 4. Tarkasteltavien muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat koko aineistosta (n=19).

	Keskiarvo	Keskihajonta
Hemoglobiini (g/l)	133,8	9,1
MCH (pg)	29,6	1,7
MCV (fl)	89,6	4,0
FER (µg/l)	36,8	21,1
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	43,2	6,5
La <sub>max</sub> (mmol/l)	9,2	2,3
LEAF-Q (pistemäärä)	5,2	2,1

MCH = punasolujen keskimääräinen hemoglobiinin määrä; MCV = punasolujen keskitilavuus; FER = seerumin ferritiini; VO<sub>2</sub> max = maksimaalinen hapenottokyky; La<sub>max</sub> = maksimi laktaatti; LEAF-Q = Low Energy Availability in Females Questionnaire -kyselyn pisteet

Taulukossa 5 on esitetty korrelaatiokertoimet rautastatusta kuvaavien muuttujien (Hb, MCV, MCH ja FER) kestävyysuorituskyvyn muuttujien (VO<sub>2</sub>max ja La<sub>max</sub>) ja energiansaatavuuden (LEAF-Q) välillä. Tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio havaittiin rautastatusta kuvaavien MCV- ja MCH-arvojen välillä ( $r = 0.935$ ,  $p < 0.01$ ) sekä S-Ferrit- ja VO<sub>2</sub>max-tulosten välillä ( $r = 0.451$ ,  $p < 0.05$ ).

TAULUKKO 5. Rautastatuksen muuttujien, kestävyys suorituskyvyn muuttujien ja energiasaatavuuden väliset korrelaatiokertoimet.

	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	La <sub>max</sub> (mmol/l)	Hb (g/l)	MCV (fl)	MCH (pg)	FER ug/l
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)						
La <sub>max</sub> (mmol/l)	0,355					
Hb (g/l)	0,066	0,057				
MCV (fl)	-0,031	-0,081	0,086			
MCH (pg)	0,051	-0,130	0,131	,935**		
FER µg/l	0,451*	-0,047	-0,007	0,221	0,267	
LEAF-Q	0,290	0,138	-0,108	0,134	0,204	0,001

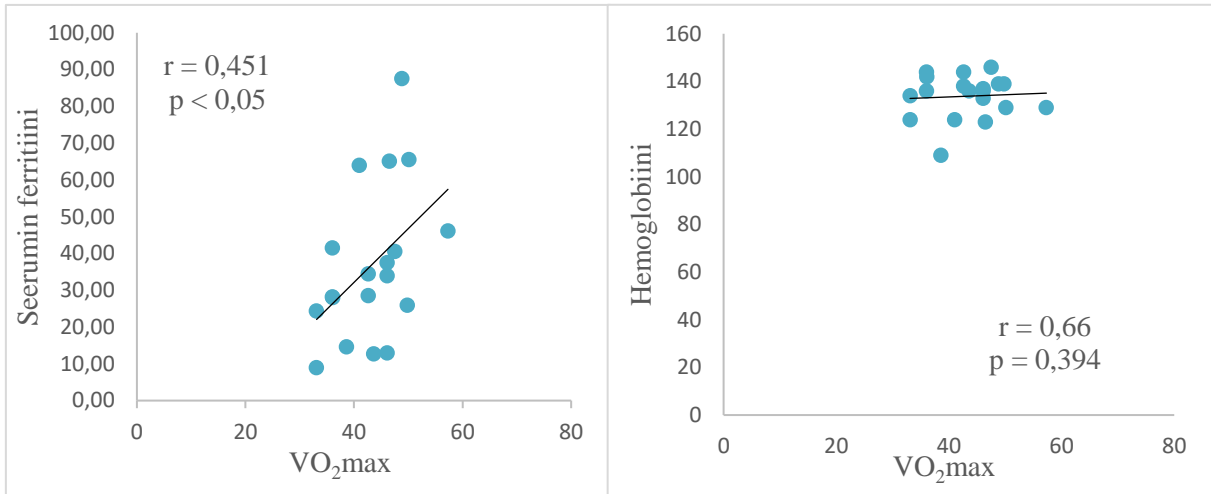
MCH = punasolujen keskimääräinen hemoglobiinin määrä; MCV = punasolujen keskitilavuus; FER = seerumin ferritiini; VO<sub>2</sub> max = maksimaalinen hapenotto kyky; La<sub>max</sub> = maksimi laktaatti; LEAF-Q = Low Energy Availability in Females Questionnaire -kyselyn pisteet

\* < 0,05

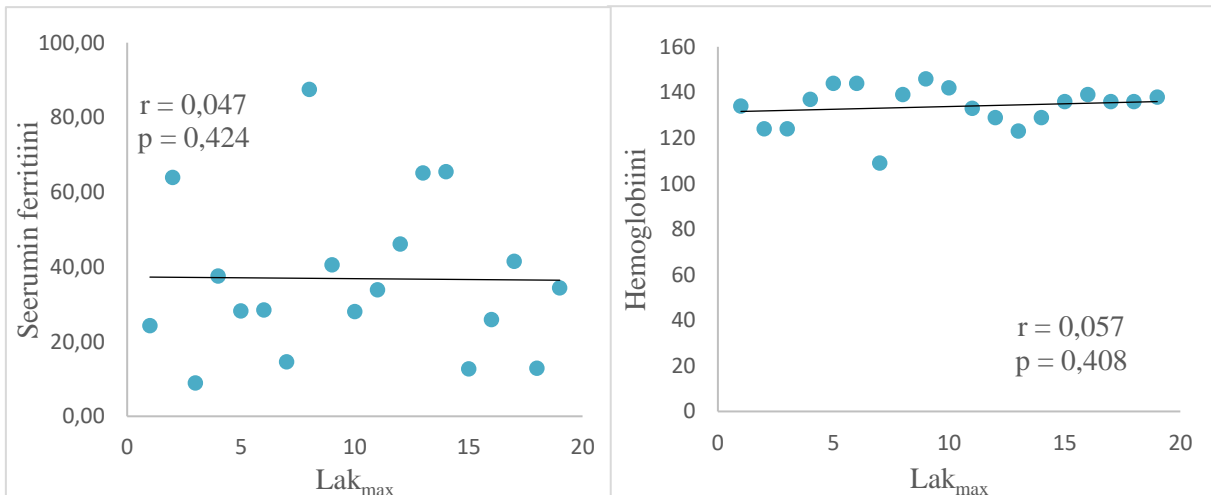
\*\* < 0,01

## 7.1 Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn

Kuvassa 4 on esitetty S-Ferrit ja Hb:n korrelaatiot maksimaaliseen hapenottokykyyn pistehajontakuviassa. Hb:n ja VO<sub>2</sub>max-tulosten välillä ei havaittu yhteyttä, mutta S-Ferrit ja VO<sub>2</sub>max-tulosten välillä havaittiin positiivinen korrelaatio. Kuvassa 5 havaitaan, ettei La<sub>max</sub>-tulosten välillä ollut yhteyttä S-Ferrit- ja Hb-arvojen kanssa.



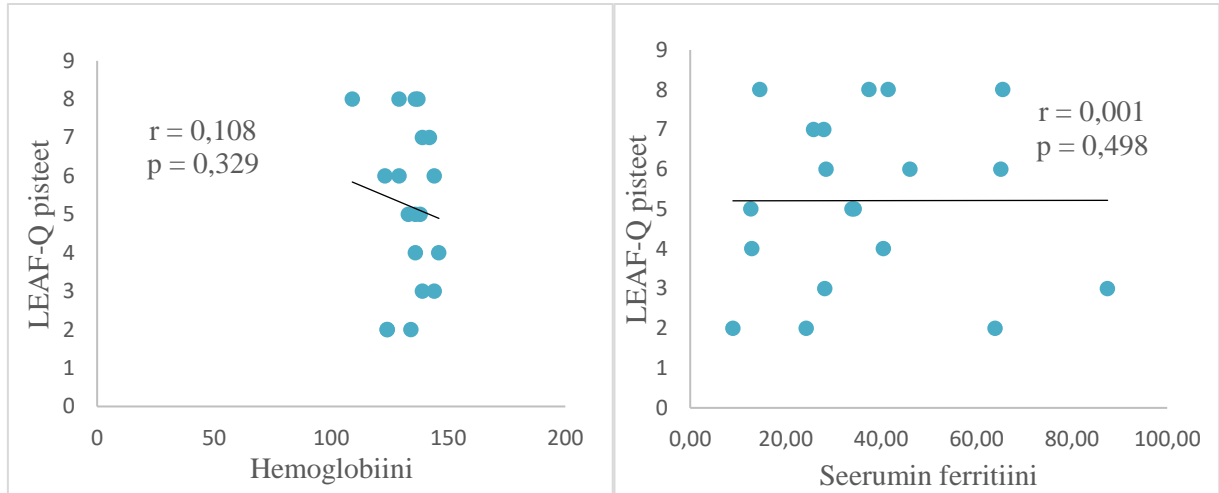
KUVA 4. Seerumin ferritiinin ( $\mu\text{g/l}$ ) ja hemoglobiinin (g/l) yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn (ml/kg/min). Kuvasta voidaan havaita, että seerumin ferritiinissä yksilölliset erot olivat suuria.



KUVA 5. Seerumin ferritiinin ( $\mu\text{g/l}$ ) ja hemoglobiinin (g/l) yhteys maksimi laktaattiin (mmol/l).

## 7.2 Rautastatuksen yhteys energiansaataavuuteen

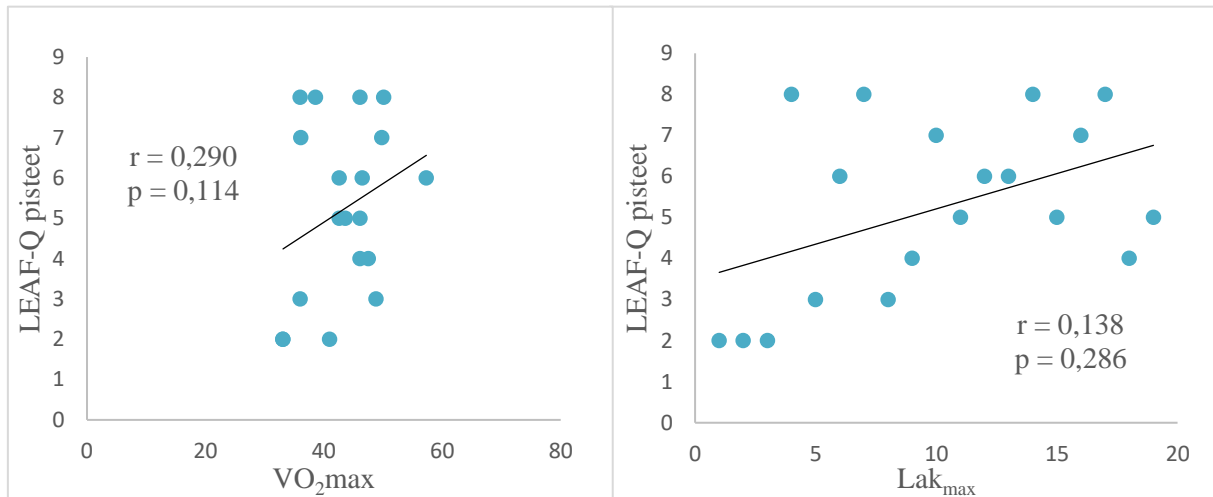
Kuvassa 6 on esitetty LEAF-Q-kyselyn pisteiden korrelaatiot S-Ferriit- ja Hb-arvoihin. Kyselyn tulokset eivät olleet yhteydessä rautastatuksen muuttujien kanssa.



KUVA 6. LEAF-Q-kyselyn pisteiden yhteys hemoglobiiniin (g/l) ja seerumin ferritiiniin (µg/l)

### 7.3 Energiansaataavuuden yhteys maksimaaliseen hapenottookykyyn

Kuvassa 7 on esitetty LEAF-Q-kyselyn pisteiden korrelaatiot  $VO_{2max}$ :iin ja  $La_{max}$ :iin. LEAF-Q-kyselyn tulosten ja kestävyys suorituskyvyn muuttujien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä.



KUVA 7. LEAF-Q-kyselyn pisteiden yhteys maksimaaliseen hapenottookykyyn (ml/kg/min) ja maksimi laktaattiin (mmol/l).

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella naisten elimistön rautastatuksen yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn ja energiansaataavuuteen. Tavoitteena oli saada tietoa siitä, laskeeko heikentynyt rautastatus maksimaalista hapenottokykyä sekä, voiko liian alhaisella energiansaataavuudella olla yhteyttä elimistön rautastatukseen. Rautastatusta tarkasteltiin seerumin ferritiinin, hemoglobiinin ja punasoluindeksien avulla. Maksimaalinen hapenottokykytesti tehtiin tutkittaville juoksumatolla ja testissä mitattiin myös testin aikainen maksimi laktaatti. Tutkittavien energiansaataavuutta arvioitiin LEAF-Q-kyselylomakkeen avulla. Tämän tutkimuksen päätuloksena on se, että heikentyneellä rautastatuksella on yhteyttä maksimaalisen hapenottokyvyn kanssa, mutta ei energiansaataavuuden kanssa.

*Elimistön rautastatus.* Tässä tutkimuksessa yhdellä tutkittavalla hemoglobiini oli 109 g/l, mutta muilla tutkittavilla Hb oli viitearvoissa ( $> 117$  g/l). Seerumin ferritiini oli kahdeksalla tutkittavista  $< 30$   $\mu$ g/l, joista neljällä S-Ferrit oli selkeästi alentunut ( $< 15$   $\mu$ g/l). On arvioitu, että IDWA:n esiintyvyys olisi fyysisesti aktiivisten naisten keskuudessa noin 30 % (Dellavalle & Haas 2012) ja tässä tutkimuksessa IDWA:ta esiintyi 42 %:lla tutkittavista (S-Ferrit  $< 30$   $\mu$ g/l). Kyseisillä tutkittavilla punasolujen koko ja Hb:n keskimääräinen määrä punasoluissa olivat normaalilla tasolla, koska MCV ja MCH olivat viitearvoissa. Voidaan siis sanoa, että yhtä tutkittavaa lukuun ottamatta yksikään tutkittava ei kärsinyt vakavasta raudanpuutteesta, vaan pääosin raudanpuutteisilla tutkittavilla rautastatus oli ehtynyt (Brownlie ym. 2002). Mikäli rautastatusta olisi haluttu tarkastella vielä tarkemmin, olisi tutkittavilta voitu mitata seerumin TfR. Brownlien ym. 2001 mukaan TfR:än on luotettavampi arvo kertomaan mahdollisesta raudanpuutteesta, kuin Hb- ja S-Ferrit-arvot. Erityisesti tutkittavilta, joilla S-Ferrit oli  $< 15$   $\mu$ g/l, olisi voitu tarkastella myös TfR-arvoa, jolloin olisi saatu parempi tieto elimistön rautastatuksesta. TfR:n avulla rautastatusta olisi voitu tarkastella myös luotettavammin, sillä tässä tutkimuksessa ei katsottu tutkittavien CRP:tä. Tämän vuoksi ei voida varmasti tietää, oliko tutkittavilla elimistössä tulehdusta, joka voi vääristää S-Ferrit tuloksia (Daru ym. 2017; Rajamäki & Punnon 1998).

*Energiansaataavuus.* Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin LEAF-Q-kyselyä energiansaannin arvioimiseksi. LEAF-Q-kysely on kehitetty naisurheilijasyndrooman riskin arvioimiseksi ja sen avulla voidaan tarkastella alhaisesta energiansaataavuudesta aiheutuvia oireita, kuten urheiluvammoja ja kuukautishäiriöitä. Kyseinen kysely ei siis suoraan kerro tutkittavan

energiansaataavuudesta, mutta mikäli vastaaja saa  $\geq 8$  pistettä, on hänellä suurentunut riski liian alhaiselle energiansaataavuudelle. (Melin ym. 2014) Tässä tutkimuksessa neljä tutkittavaa sai LEAF-Q-kyselystä 8 pistettä. Huomionarvoista on kuitenkin se, että vain yhdellä näistä neljästä oli selkeästi rautastatus heikentynyt ( $Hb < 109$  g/l ja S-Ferrit oli  $< 15$   $\mu$ g/l). LEAF-Q:n pisteet eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä rautastatuksesta kertovien muuttujien kanssa. Verrattaessa LEAF-Q:n pisteitä kestävyysuorituskyvyn muuttujiin, voitiin havaita, että korkeammat LEAF-Q-pisteet olivat yhteydessä korkeampaan  $VO_2max$ :n. Näin ollen liian alhainen energiansaataavuus parantaisi kestävyyskapasiteettia. Korrelaatio ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä, mutta silti huomionarvoinen, koska hypoteesina oli, että korkeimmilla LEAF-Q-pisteiden saajilla olisi matalammat  $VO_2max$ -tulokset. Ackermanin ym. (2018) mukaan LEA kuitenkin laskisi kestävyyskapasiteettia, koska LEA on havaittu laskevan Hb- ja S-Ferrit arvoja.

On kuitenkin huomioitava, että LEAF-Q:ta on aiemmissa tutkimuksissa käytetty pääosin naisurheilijoiden alhaisen energiansaataavuuden seulontaan sekä syömishäiriöiden havaitsemiseen (Sim & Burns 2021). Tässä tutkimuksessa kohderyhmänä olivat fyysisesti aktiiviset naiset eikä kilpaurheilijat. Urheilijoilla LEA:n vaikutukset voivat tulla esiin helpommin esimerkiksi urheiluvammoina, koska fyysinen rasitus on kovempaa verrattuna ei-urheilija yksilöihin. Suurissa urheilijaryhmissä LEAF-Q on kuitenkin todettu validiksi mittariksi LEA:n seulomisessa. (Melin ym. 2014)

*Maksimaalinen hapenotto-kyky.* Kestävyysuorituskyvyn osalta  $VO_2max$  tulokset olivat yhteydessä S-Ferrit- arvoihin, mikä selittyisi IDWA:sta aiheutuvan oksidatiivisen kapasiteetin heikkenemisellä (Hinton & Sinclair 2007). Sen sijaan Hb-arvot eivät korreloineet  $VO_2max$ -tulosten kanssa. On kuitenkin huomioitava, että tutkittavien Hb-arvot olivat yhtä tutkittavaa lukuun ottamatta viitearvoissa, minkä vuoksi Hb:n ja kestävyysuorituskyky muuttujien välinen tarkastelu kovin validia. Myöskään  $L_{max}$  ja rautastatuksen välillä ei ollut yhteyttä, mikä on ristiriidassa Dellavallen ja Haasin (2012) naissoutajille tehdyn tutkimuksen havaintojen kanssa. Heidän tutkimuksessaan IDWA:sta kärsivillä naissoutajilla laktaattiarvot olivat keskimäärin korkeammat, kuin normaalin rautastatuksen omaavilla naisilla. Tässä tutkimuksessa IDWA ei kuitenkaan ollut yhteydessä suorituksen aikana mitattuun maksimi laktaattiin.

Alun perin tutkimuksessa oli tarkoituksena tarkastella myös maksimaalisen hapenotto-kykytestin RER-arvoja, mutta nämä eivät ehtineet aineistoon ennen analysoinnin



aloittamista. RER-arvojen avulla olisi voitu tarkastella, miten hiilihydraattien ja rasvan käyttö energianlähteenä jakautuu fyysisen suorituksen aikana. Etenkin RER-arvoa olisi ollut mielenkiintoista tarkastella tutkittavilta, jotka kärsivät IDWA:sta ja verrata heidän RER-arvojansa normaalin rautastatuksen omaavien tutkittavien arvoihin. Hinton ja Sinclair (2007) mukaan heikko rautastatus nostaa RER-arvoa submaksimaalisessa kuormituksessa, mikä viittaisi siihen, että luustolihasen oksidatiivinen kapasiteetti on heikentynyt IDWA:ssa. Tässä tutkimuksessa olisi saatu kattavammin tietoa siitä, miten heikentynyt rautastatus vaikuttaa energianlähteiden käyttöön, jos maksimaalisen hapenottokykytestin submaksimaalisen kuorman RER-arvot olisivat saatu analysoitavaksi.

*Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet.* Tutkimuksen yksi suurin heikkous on melko pieni tutkittavien määrä. Alun perin NaisQs-tutkimusprojektista oli tarkoitus tarkastella noin 30 tutkittavaa, mutta osa tutkittavista jätti tutkimuksen kesken ja osalle tutkittavista ei ehditty tehdä testejä ennen tämän tutkimuksen datan analysointia. Tutkimuksissa havaittuja tuloksia ei siis voida yleistää väestöön pienen otoskoon vuoksi. Lisäksi tutkimuksessa oli tarkoitus verrata normaalin ja heikon rautastatuksen omaavien tutkittavien tuloksia, mutta vain neljällä tutkittavista S-Ferrit oli selkeästi viitearvojen alapuolella. Tämän vuoksi matalan rautastatuksen yhteyttä kestävyys suorituskykyyn ja energiansaataavuuteen oli vaikea tutkia. Tutkimusprojekteissa, joiden dataa hyödynnettiin tässä tutkimuksessa, ei alun perin ollut tarkoitus tutkia tarkasti tutkittavien rautastatusta. Tämän vuoksi otoksessa ei ollut monia tutkittavia, jotka olisivat kärsineet heikentyneestä rautastatuksesta. Kaikki tutkittavat olivat kuitenkin eumenorrisia naisia eikä heillä ollut käytössä hormonaalista ehkäisyä, joka voi Rechichin ym. (2009) mukaan heikentää maksimaalista hapenottokykyä ja vaikuttaa myös suorituksen aikaiseen energialähteiden käyttöön. Tähän tutkimukseen ei kuitenkaan otettu mukaan hormonaalisia ehkäisyvalmisteita käyttäviä tutkittavia, joten niiden käyttöön liittyvät mahdolliset vaikutukset eivät vaikuttaneet tämän tutkimuksen tuloksiin.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin seerumin ferritiiniä, joka on akuutin faasin proteiini, eli sen pitoisuus kasvaa elimistön tulehdustiloissa (Sinisalo & Collin 2016). Tutkittavien CRP:tä ei kuitenkaan tarkasteltu, minkä vuoksi ei voida olla täysin varmoja, oliko tutkittavilla tulehduksia elimistössä verikokeiden ottamisen aikana. Jos tutkimuksessa olisi myös tarkasteltu tutkittavien TfR-arvoja, olisi saatu luotettavammin tietoa tutkittavien rautastatuksesta, koska TfR:n pitoisuus ei kasva, vaikka elimistössä olisi infektio (Ebeling ym. 2019; Rajamäki & Punnon 1998). Myös Brownlien ym. (2001) mukaan TfR:n tarkastelu on tarkempi mittari rautastatuksen

määrittämisessä ja erityisesti silloin, jos kyseessä on IDWA. Toisaalta tässä tutkimuksessa S-Ferrit-arvot olivat pääosin normaaleissa viitearvoissa, eikä merkittävästi koholla, mikä viittaisi siihen, että tutkittavilla ollut mittaushetkellä tulehdusta elimistössä.

Energiansaataavuuden arvioinnissa hyödynnettiin LEAF-Q-kyselyä, joka on Melinin ym. (2014) mukaan validi menetelmä naisurheilijaoireyhtymän riskin havaitsemisessa kestävyysurheilijanaisilla. Tässä tutkimuksessa tutkittavat eivät kuitenkaan olleet naisurheilijoita, vaan fyysisesti aktiivisia naisia. Tämän vuoksi LEAF-Q-kysely ei ollut täysin validi mittari LEA:n havaitsemiseen tämän tutkimuksen tutkittavilla. Toisaalta tässä tutkimuksessa tutkittavien LEAF-Q-pisteiden keskiarvo oli 5,2 (keskihajonta  $\pm$  2,1), joka viittaisi siihen, että tutkittavien keskuudessa ei ollut isoa riskiä LEA:lle. Tutkimuksessa tutkittavat olivat eumenorrisia naisia eli heillä oli luonnollinen kuukautiskierto, mikä lisää LEAF-Q-kyselyn validiteettia, koska Thein-Nissenbaum ym. (2014) mukaan hormonaaliset ehkäisyvalmisteet saattavat piilottaa mahdolliset kuukautiskierron häiriöt. Mikäli LEA olisi aiheuttanut tutkittaville amenorreaa eli kuukautisten poisjäämistä, olisi tämä nostanut LEAF-Q:n pisteitä. Tässä tutkimuksessa tutkittavat eivät kuitenkaan raportoineet, että kuukautiset olisivat olleet poissa viimeisen kolmen kuukauden aikana.

*Johtopäätökset.* Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että ei-urheilijanaisten rautastatus on vähäisesti yhteydessä kestävyysuorituskykyyn, mutta ei ole yhteydessä energiansaataavuuteen. Seerumin ferritiinin ollessa alentunut, heikentyy myös yksilön maksimaalinen hapenotto- ja voimantuotokyky, mutta heikentynyt rautastatus ei näyttäisi vaikuttavan laktaattiarvoihin. Myöskään energiansaataavuus ei tämän tutkimuksen mukaan olisi yhteydessä heikentyneeseen rautastatukseen. Kuten aiemmin on jo todettu, tämän tutkimuksen otoskoko oli pieni ja tutkittavien rautastatus oli pääosin hyvä, minkä vuoksi tulokset eivät ole yleistettävissä isompaan joukkoon.

*Käytännön soveltaminen ja jatkotutkimus.* Aiempien tutkimuksien perusteella on selvää, että raudanpuutteella on vaikutusta kestävyysuorituskykyyn ja erityisesti jos lisäksi Hb on alentunut, sillä se heikentää elimistön hapenkuljetuskapasiteettia (Haas & Brownlie 2001). Kuitenkin IDWA:n vaikutukset kestävyysuorituskykyyn ovat yhä epäselvät, minkä vuoksi IDWA:n vaikutuksia kestävyysuorituskykyyn olisi hyvä tutkia lisää. Jatkossa olisi olennaista tutkia yksilöitä, joilla on todettu IDWA ja kokevat kestävyysuorituskyvyn olevan heikko. IDWA:n on havaittu nostavan RER-arvoja submaksimaalisessa kuormituksessa (Hinton &

Sinclair 2007) ja tulevaisuudessa olisi olennaista tutkia, miten heikentynyt rautastatus vaikuttaa elimistön energianlähteiden käyttöön. Tutkimustulokset ovat tähän asti olleet ristiriitaisia ja tulevaisuuden tutkimuksissa tulisi ottaa huomioon myös kuukautiskierron vaihe, joka voi vaikuttaa energianlähteiden käyttöön fyysisen kuormituksen aikana (Devries 2016).

Tulevaisuudessa optimaalisessa IDWA:n tutkimuksessa tutkittavilta määritettäisiin seerumin ferritiinin, hemoglobiinin sekä punasoluindeksien lisäksi myös transferrini (Brownlie ym. 2001). Tarkasteltaessa transferriniinireseptorin ja seerumin ferritiinin suhdetta, saataisiin tarkemmin tietää elimistön rautastatuksesta. (Daru ym. 2017; Anderson & McLaren 2012, 256) Kyseisten mittareiden avulla voitaisiin määrittää tarkemmin, minkä asteinen raudanpuute tutkittavalla on ja, minkä asteinen raudanpuute vaikuttaa kestävyysuorituskykyyn.

Lisäksi jatkotutkimuksissa tutkittavilta voisi myös mitata hepsidiinin, koska kyseinen hormoni on raudan imeytymisen säätelijä (Sinisalo & Collin 2016). Hepsidiinin pitoisuus on havaittu kasvavan raskaan fyysisten suoritusten jälkeen sekä myös pitkäaikaisen LEA:n seurauksena (Badenhorstin ym. 2019; McKay ym. 2020). Tulevaisuudessa olisikin tärkeä tarkastella hepsidiinin pitoisuutta erityisesti niillä yksilöillä, joilla rautastatus on selkeästi heikentynyt. Mikäli hepsidiini on koholla, ei ravinnosta saatu rauta imeydy, mikä voi olla osasyynä heikentyneelle rautastatukselle.

LEAF-Q-kyselyn haasteena tässä tutkimuksessa oli se, että tutkittavat eivät olleet urheilijoita, joille LEAF-Q on validi mittari alhaisen energiasaannin riskin havaitsemisessa. Tulevaisuudessa IDWA:n ja energiansaataavuuden tarkastelussa tulisi käyttää LEAF-Q:n lisäksi tai sen rinnalla toista menetelmää, joka arvioisi energiansaataavuutta. EDE-Q-kysely Simin ja Burns (2021) mukaan voisi käyttää yhdessä LEAF-Q-kyselyn kanssa, jolloin saataisiin kattavammin tietoa siitä, onko tutkittavilla häiriintynyttä syömiskäyttäytymistä. Toisaalta kyselytutkimuksissa on aina riski sille, että tutkittava ei vastaa totuuden mukaisesti, minkä vuoksi myös ruokapäiväkirjaa voisi tulevaisuuden tutkimuksissa hyödyntää. Toki myös ruokapäiväkirjan käyttämiseen energiansaannin arvioinnissa liittyy virhelähteitä, kuten esimerkiksi ruokamäärän aliraportointi tai jos tutkittava syö valmiiksi tehtyä ruokaa, ei hän välttämättä tiedä kaikkia ruoka-aineita (Hinton ym. 2004). Tulevaisuudessa energiasaannin arviointimenetelmän valinnassa on kuitenkin olennaista huomioida tutkimuksen otoskoko ja, mikä tutkimusmenetelmä on otoskoolle paras mahdollinen.

Alun perin tässä tutkimuksessa oli tarkoitus vertailla urheilijoiden ja ei-urheilijoiden välisiä eroja rautastatuksen yhteydestä maksimaaliseen hapenottokykyyn sekä energiansaataavuuteen. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tarkastella myös sitä, miten urheilijanaisilla elimistön rautastatus ja juuri IDWA mahdollisesti vaikuttaa maksimaaliseen hapenottokykyyn. Tutkimuksessa olisi hyvä tarkastella, eroavatko IDWA:n yhteydet kestävyys suorituskyvyn muuttujiin sekä energiansaataavuuteen urheilija ja ei-urheilijanaisilla. Useamman tutkimuksen mukaan LEA:n on havaittu vaikuttavan urheilijan suorituskykyyn (Logue ym. 2020), mutta LEA:n vaikutuksia elimistön rautastatukseen ei tunneta vielä kovin hyvin. Olisikin tärkeä tutkia, vaikuttaako LEA samalla tavalla elimistön rautastatukseen urheilija- ja ei-urheilijanaisilla.

Yleisesti IDWA:n vaikutuksia kestävyys suorituskykyyn sekä näiden yhteyttä energiansaataavuuteen on tutkittu melko vähän ja tutkimustulokset ovat olleet ristiriitaisia (Rubeor ym. 2018). Tulevaisuudessa tarvitaan lisää tutkimuksia IDWA:n vaikutuksista fyysiseen suorituskykyyn, koska raudanpuute on erityisesti fertiili-ikäisillä naisilla yleinen vaiva kuukautisten vuoksi (Ebeling ym. 2019). Tutkimuksia olisi hyvä tehdä sekä huippu-urheilijoilla että kuntoliikuntaa harrastavilla naisilla, koska molemmissa ryhmissä raudanpuute voi heikentää suorituskykyä ja aiheuttaa oireilua.

## LÄHTEET

- Ackerman, K. W., Holtzman, B., Cooper, K. M., Flynn, E. F., Bruinvels, G., Tenforde, A. S., Popp, K. L., Simpkin, A. J. & Parziale, A. L. (2019). Low energy availability surrogates correlate with health and performance consequences of Relative Energy Deficiency in Sport. *British Journal of Sports Medicine* 53, 628–633. doi: 10.1136/bjsports-2017-098958.
- 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, 38. doi: 10.1186/s12970-015-0099-2.
- Anderson, G. J. & McLaren, G. D. (2012). *Iron physiology and pathophysiology in humans*. New York: Humana Press.
- Badenhorst, C. E., Black, K. W. & 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. doi: 10.1123/ijsnem.2019-0006.
- Bassett, D. R. J. & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 32(1), 70–84. doi: 10.1097/00005768-200001000-00012.
- Brownlie, T., Utermohlen, V., Hinton, P. S., Giordano, C. & Haas, J.D. (2002). Marginal iron deficiency without anemia impairs aerobic adaptation among previously untrained women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 75, 734–42. doi: 10.1093/ajcn/75.4.734.
- Burden, R. J., Morton, K., Richards, T., Whyte, G. P. & Pedlar, C. R. (2015). Is iron treatment beneficial in, iron-deficient but non-anaemic (IDNA) endurance athletes? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 49 (21), 1389-97. doi: 10.1136/bjsports-2014-093624.
- Burke, L. M., Castell, L. M., Casa, D. J., Close, G. L., Costa, R. J. S., Desbrow, B., Halson, S. L., Lis, D. M., Melin, A. K., Peeling, P., Saunders, P. U., Slater, G. J., Sygo, J., Witard, O. C., Bermon, S. & Stellingwerff, T. 2019. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019: Nutrition for Athletics. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29 (2), 73-84. doi: 10.1123/ijsnem.2019-0065.

- 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 & Exercise Metabolism* 28 (4), 350-363. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0142.
- Buttriss, J. & Hughes, J. (2002). A review of the MAFF Optimal Nutrition Status research programme: folate, iron and copper. *Public Health Nutrition* 5(4), 595–61. doi: 10.1079/PHN2001325.
- Daru, J., Colman, K., Stanworth, S.J., Salle, B.D.L., Wood, E.M., & Pasricha, S-R. (2017). Serum ferritin as an indicator of iron status: what do we need to know?. *The American Journal of Clinical Nutrition* 106, 1634S–9S. doi: 10.3945/ajcn.117.155960.
- 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. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182517ceb.
- Devries, M. C. (2016). Sex-based differences in endurance exercise muscle metabolism: impact on exercise and nutritional strategies to optimize health and performance in women. *Experimental Physiology* 101(2), 243-249. doi: 10.1113/EP085369.
- Ebeling, F., Sinisalo, M., Säily, M., Widenius, T., Kuittinen, T., Itälä-Remes, M. & Remes, K. (2019). Raudanpuute ilman anemiaa. Miten ferritiiniarvoa tulkitaan. *Suomalainen lääkäri-lehti* 74: 476–8.
- Eerola, H. (2022). Veritutkimukset ja veren ainesosat. *Duodecim Terveyskirjasto*. <https://www.terveyskirjasto.fi/snk02011> Viitattu 12.12.2022
- Finn, E. E., Tenforde, A. S., Fredericson, M., Golden, N. H., Carson, T. L., Karvonen-Gutierrez, C. A. & Carlson, J. L. (2021). Markers of Low-Iron Status Are Associated with Female Athlete Triad Risk Factors. *Medicine and science in sports and exercise* 53 (9), 1969–1974. doi: 10.1249/MSS.0000000000002660.
- Garcia-Casal, M. N., Pasricha, S-R., Martinez, R. X., Lopez-Perez, L. & Peña-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. doi: 10.1016/j.arcmed.2018.12.005.
- Garcia-Casal, M. N., Pasricha, S-R., Martinez, R. X., Lopez-Perez, L. & Peña-Rosas, J. P. (2021). Serum or plasma ferritin concentration as an index of iron deficiency and overload. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 24; 5 (5), CD011817. doi: 10.1002/14651858.CD011817.

- Goldstein, E.R. (2016). Exercise-Associated Iron Deficiency: A Review and Recommendations for Practice. *Strength and Conditioning Journal* 38 (2), 24-34. doi: 10.1519/SSC.0000000000000202.
- Guyton, C. & Hall, J. (2011). *Textbook of Medical Physiology*. 12. painos. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Haas, J. D. & Brownlie, T. (2001). Iron Deficiency and Reduced Work Capacity: A Critical Review of the Research to Determine a Causal Relationship. *The Journal of Nutrition* 131, 676S–690S. doi: 10.1093/jn/131.2.676S.
- Heikura, I. A., Uusitalo, A. L., Stellingwerff, T., Bergland, D., Mero, A. A. & Burke, L. M. 2017. Low Energy Availability is Difficult to Assess but Outcomes Have Large Impact on Bone Injury Rates in Elite Distance Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 28 (4), 403-411. doi: 10.1123/ijsnem.2017-0313.
- Hinton, P.S., Sanford, T.C., Davidson, M.M., Yakushko, O.F. & Beck, N.C. 2004. Nutrient Intakes and Dietary Behaviors of Male and Female Collegiate Athletes. *International Journal of Sport and Exercise Metabolism* 14 (4):389-405. doi: 10.1123/ijsnem.14.4.389.
- Hinton, P. S. & Sinclair, L. M. (2007). Iron supplementation maintains ventilatory threshold and improves energetic efficiency in iron-deficient nonanemic athletes. *European Journal of Clinical Nutrition* 61 (1), 30–9. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602479.
- Houston, B. L., Hurrie, D., Graham, J., Perija, B., Rimmer, E., Rabbani, R., Bernstein, C. N., Turgeon, A. F., Fergusson, D. A., Houston, D. S., Abou-Setta, A. M. & Zarychanski, R. (2018). Efficacy of iron supplementation on fatigue and physical capacity in non-anaemic iron-deficient adults: a systematic review of randomised controlled trials. *British Medical Journal* 5; 8 (4); e019240. doi: 10.1136/bmjopen-2017-019240.
- Hulkkonen, J., Aatola, H., Palve, K., Lehtimäki, T., Hutri-Kahonen, N., Viikari, J. S., Raitakari, O. T. & Kahonen, M. (2014). Determinants of exercise peak arterial blood pressure, circulatory power, and exercise cardiac power in a population based sample of Finnish male and female aged 30 to 47 years: the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *BMC Cardiovascular Disorders* 14,35. doi: 10.1186/1471-2261-14-35.
- Hynynen, E. (2016) *Hengitys ja verenkiertoelimistö*. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen. *Huippu-urheiluvalmennus*. Lahti: VK Kustannus Oy.
- Kojima, C., Ishibashi, A., Tanabe, Y., Iwayama, K., Kamei, A., Takahashi, H. & Goto, K. (2020). Muscle Glycogen Content during Endurance Training under Low Energy

- Availability. *Medicine and science in sports and exercise* 52 (1), 187–195. doi: 10.1249/MSS.0000000000002098.
- Laaksonen, M. S. (2020). Kestävyyskunnan mittaaminen – miksi ja miten?. *Liikunta & Tiede*, 1–2020.
- Logue, M. D., Madigan, S. M., Heinen, M., McDonnell, S-J., Delahunt, E. & Corish, C.A. (2019). Screening for risk of low energy availability in athletic and recreationally active females in Ireland. *European Journal of Sport Science* 19 (1), 112-122. doi: 10.1080/17461391.2018.1526973.
- Logue, M. D., Madigan, S. M., Melin, A., Delahunt, E., Heinen, M., Mc Donnell, S-J., & Corish, C. A. (2020). Low Energy Availability in Athletes 2020: An Updated Narrative Review of Prevalence, Risk, Within-Day Energy Balance, Knowledge, and Impact on Sports Performance. *Nutrients* 12 (3), 835. doi: 10.3390/nu12030835.
- McArdle, William, D., Katch, Frank, I. & Katch, Victoria, L. (2015). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Wolters Kluwer.
- McClung, J. P. (2019). Iron, Zinc, and Physical Performance. *Biological Trace Element Research* 188, 135–139. doi: 10.1007/s12011-018-1479-7.
- McKay, A. K. A., Pyne, B. D., Burke, L. M. & Peeling, P. (2020). Iron Metabolism: Interactions with Energy and Carbohydrate Availability. *Nutrients* 12 (12), 3692. doi: 10.3390/nu12123692.
- Melin, A., Tornberg, A. B., Skouby, S. O., Faber, J., Ritz, C., Sjödén, A. & Sundgot-Borgen, J. (2014). The LEAF questionnaire: A screening tool for the identification of female athletes at risk for the female athlete triad. *British Journal of Sports Medicine* 48 (7), 540–545. doi: 10.1136/bjsports-2013-093240.
- Melin, A.K., Heikura, I.A., Tendorde, A. & Mountjoy, M. (2019). Energy Availability in Athletics: Health, Performance, and Physique. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 29, 152-164. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0201.
- Montero, D. & Díaz-Cañestron, C. (2016). Endurance training and maximal oxygen consumption with ageing: Role of maximal cardiac output and oxygen extraction. *European Journal of Preventive Cardiology* 23 (7), 733–743. doi: 10.1177/2047487315617118.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Ackerman, K. E., Blauwet, C., Constantini, N., Lebrun, C., Lundy, B., Melin, A.n Meyer, N., Sherman, R., Tenforde, A. S., Torstveit, M. K. & Budgett, R. (2018). International Olympic Committee (IOC) consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *International*



- journal of sport nutrition and exercise metabolism 28 (4), 316–331. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0136.
- Nummela, A. (2016). Energia-aineenvaihdunta. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen. *Huippu-urheiluvalmennus*. Lahti: VK Kustannus Oy.
- Nummela, A. (2017). Kestävyyssuorituskykyä suorituksen taloudellisuutta parantamalla. *Liikunta & Tiede* 64 (6), 22–26.
- Nummela, A. & Häkkinen, K. (2016). Kestävyyssurheilu ja voimaharjoittelu kestävyyslajeissa. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen. *Huippu-urheiluvalmennus*. Lahti: VK Kustannus Oy.
- Pasricha, S-R., Low, M., Thompson, J., Farrell, A. & De-Regil, L. (2014). Iron supplementation benefits physical performance in women of reproductive age: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Nutrition* 144 (6), 906-14. doi: 10.1002/14651858.CD009747.
- Pedlar, C. R., Brugnara, C., Bruinvels, G. & Burden, R. (2018). Iron balance and iron supplementation for the female athlete: A practical approach. *European Journal of Sport Science* 18 (2), 295–305. doi: 10.1080/17461391.2017.1416178.
- 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 (9), 1721–1737. doi: 10.1007/s40279-017-0706-2.
- Rajamäki, A. & Punnonen, K. (1998). Raudanpuuteanemian diagnostiikka ja hoito. *Duodecim* 114, 1187–93.
- Rechichi, C., Dawson, B. & Goodman, C. (2009). Athletic performance and the Oral Contraceptive. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 4 (2), 151-62. doi: 10.1123/ijssp.4.2.151.
- Rubeor, A., Goojha, C., Manning, J. & White, J. (2019). Does Iron Supplementation Improve Performance in Iron-Deficient Nonanemic Athletes? *Sports Health A Multidisciplinary Approach* 10 (5), 400–405. doi: 10.1177/1941738118777488.
- Savonen, K., Laukkanen, J. & Peltonen, J. (2015). Suorituskyky ja kardiorespiratorinen kunto: kuormitusfysiologiasta kliiniseen päätöksentekoon. *Duodecim* 131, 1693–9.
- Schutte, N. M., Nederend, I., Hudziak, J. J., Bartels, M. & de Geus, E. J. C. (2016). Twin-sibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiol Genomics* 48 (3), 210–219. doi: 10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- Seppä, K. & Sillanaukee, P. (1994). Vanhat ja uudet punasoluindeksit. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 110 (5), 467.

- Sim, A. & Burns, S. F. (2021). Review: questionnaires as measures for low energy availability (LEA) and relative energy deficiency in sport (RED-S) in athletes. *Journal of Eating Disorders* 9 (1), 41. doi: 10.1186/s40337-021-00396-7.
- Sim, M., Garvican-Lewis, L. A., Cox, C. R., Govus, A., McKay, A. K. A., Stellingwerf, T. & Peeling, P. (2019). Iron considerations for the athlete: a narrative review. *European Journal of Applied Physiology* 119, 1463–1478. doi: 10.1007/s00421-019-04157-y.
- Sinisalo, M. & Collin, P. (2016). Raudanpuuteanemian syyt ja diagnostiikka. *Suomen lääkirilehti* 37, 2251–2254.
- Stugiewicz, M., Tkaczyszyn, M., Kasztura, M., Banasiak, W., Ponikowski, P. & Jankowska, E. A. (2016). The influence of iron deficiency on the functioning of skeletal muscles: experimental evidence and clinical implications. *European Journal of Heart Failure* 18 (7), 762-73. doi: 10.1002/ejhf.467.
- Snyder, A. C., Dvorak, L. L. & Roepke, J. B. (1989). Influence of dietary iron source on measures of iron status among female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 21 (1), 7-10. doi: 10.1249/00005768-198902000-00002.
- Thein-Nissenbaum, J. M., Carr, K. E., Hetzel, S. & Dennison, E. 2013. Disordered Eating, Menstrual Irregularity, and Musculoskeletal Injury in High School Athletes: A Comparison of Oral Contraceptive Pill Users and Nonusers. *Sports Health* 6 (4), 313-20. doi: 10.1177/1941738113498852.
- Tunturi, S. (2022). Hemoglobiini (B-Hb). *Duodecim Terveyskirjasto*. Kustannus Oy Duodecim. <https://www.terveyskirjasto.fi/snk03031> Viitattu 6.2.2023
- VRN. (2014). Terveyttä ruoasta: Suomalaiset ravitsemussuositukset 2014. Valtion ravitsemusneuvottelulautakunta. 5. uudistettu painos.
- Wasserfurth, P., Palmowski, J., Hahn, A. & Krüger, K. (2020). Reasons for and Consequences of Low Energy Availability in Female and Male Athletes: Social Environment, Adaptations, and Prevention. *Sports Medicine* 6, 44. doi: 10.1186/s40798-020-00275-6.
- WHO. (2011). Serum ferritin concentrations for the assessment of iron status and iron deficiency in populations. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/85843> Viitattu 4.5.2022
- Wolf, K., St. Thomas, M. M., Hahn, N., Vaughan, L. A., Carlson, A. G. & Hinton, P. (2009). Iron Status in Highly Active and Sedentary Young Women. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 19, 519-53. doi: 10.1123/ijsnem.19.5.519.

## LIITE 1. Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q-kysely suomeksi)

Tupakoitko?

- Kyllä
- En

### **1. Vammat (merkitse parhaiten tilannettasi kuvaava vaihtoehto)**

A: Ovatko vammat estäneet normaalin harjoittelusi tai kilpailemisesi viimeisen vuoden aikana

- Eivät kertaakaan
- Kyllä, 1–2 kertaa
- Kyllä, 3–4 kertaa
- Kyllä, 5 kertaa tai enemmän

B: Jos vastasit kyllä, montako päivää olet joutunut olemaan poissa harjoituksista tai kilpailuista viimeisen vuoden aikana?

- 1–7 päivää
- 7–14 päivää
- 15–21 päivää
- 22 päivää tai enemmän

A2: Jos vastasit kyllä, kuvaile vammojasi:

Muita kommentteja vammoihin liittyen:

### **2. Suoliston toiminta (valitse parhaiten tilannettasi kuvaava vaihtoehto)**

A: Onko sinulla vatsan turvotusta tai kaasu muodostusta myös silloin, kun sinulla ei ole kuukautisia?

- Kyllä, useasti päivässä
- Kyllä, useasti viikossa
- Kyllä, 1–2 kertaa viikossa tai harvemmin
- Harvoin tai ei koskaan

B: Onko sinulla vatsakipua tai –kramppeja, jotka eivät liity kuukautisiin?

- Kyllä, useasti päivässä
- Kyllä, useasti viikossa
- Kyllä, 1–2 kertaa viikossa tai harvemmin
- Harvoin tai ei koskaan

C: Kuinka usein suolesi keskimäärin toimii?

- Useita kertoja päivässä
- Kerran päivässä
- Joka toinen päivä
- Kahdesti viikossa
- Kerran viikossa tai harvemmin

D: Kuinka kuvailisit ulosteesi koostumusta?

- Normaali (pehmeä)
- Ripulinkaltainen (vetinen)
- Kova ja kuiva

Kommentteja suoliston toimintaan liittyen:

### **3. Kuukautiskierron toiminta ja hormonivalmisteet**

3.1 Hormonivalmisteet (merkitse tilannettasi parhaiten kuvaava vaihtoehto)

A: Käytätkö hormonivalmisteita?

- Kyllä
- En

A1: Jos vastasit kyllä, miksi käytät hormonivalmisteita?

- Ehkäisyyn
- Kuukautiskipuihin
- Vuodon vähentämiseksi
- Kuukautisten ajankohdan muuttamiseen mm. kilpailujen vuoksi
- Jotta kuukautiset eivät loppuisi
- Muu syy. Mikä?

A2: Jos vastasi ei, oletko aiemmin käyttänyt hormonivalmisteita?

- Kyllä
- En

Koska ja kuinka kauan?

B: Käytätkö muita hormonivalmisteita (mm. hormonikierukka tai -implantti)

- Kyllä
- En

B1: Jos vastasi kyllä, niin mitä?

- Ehkäisylaastari
- Ehkäisyrenkas
- Hormonikierukka
- Muu. Mikä?

### **3.2 Kuukautiskierto (valitse tilannettasi parhaiten kuvaava vaihtoehto)**

A: Kuinka vanha olit, kun kuukautisesi alkoivat?

- 11 vuotta tai nuorempi
- 12–14 vuotta
- 15 vuotta tai enemmän
- En muista
- Minulla ei ole koskaan ollut kuukautisia (jos valitsit tämän ei sinun tarvitse enää vastata jäljellä oleviin kysymyksiin)

B: Alkoivatko kuukautisesi luonnostaan (itsestään)?

- Kyllä
- Eivät
- En muista

C: Onko sinulla normaali kuukautiskierto?

- Kyllä
- Ei (siirry kysymykseen C6)
- En tiedä (siirry kysymykseen C6)

C1: Jos vastasit kyllä, milloin viimeisimmät kuukautisesi alkoivat?

- 0–4 viikkoa sitten
- 1–2 kuukautta sitten
- 3–4 kuukautta sitten
- Yli 5 kuukautta sitten

C2: Jos vastasit kyllä, ovatko kuukautisesi säännölliset?

- Kyllä useimmiten
- Eivät pääsääntöisesti

C3: Jos vastasit kyllä, montako päivää vuotosi kestää tavallisesti

- 1–2 päivää
- 3–4 päivää
- 5–6 päivää
- 7–8 päivää
- 9 päivää tai enemmän

C4: Jos vastasit kyllä, onko sinulla ollut koskaan runsasta vuotoa?

- Kyllä
- Ei

C5: Jos vastasit kyllä, monetko kuukautiset sinulla on ollut viimeisen vuoden aikana?

- 12 tai enemmän
- 9–11
- 6–8
- 3–5
- 0–2

C6: Jos vastasit ei tai en muista, milloin sinulla oli viimeksi kuukautiset?

- 2–3 kk sitten
- 4–5 kk sitten
- yli 6 kk sitten
- Olen raskaana, joten minulla ei ole kuukautisia tällä hetkellä

D: Ovatko kuukautisesi olleet muun syyn kuin raskauden takia poissa kolme kuukautta tai

kauemmin?

- Eivät koskaan
- Kyllä niin on tapahtunut aiemmin
- Kyllä juuri nyt

E: Oletko huomannut kuukautisissasi muutoksia, kun harjoittelu määrä, teho tai harjoituskerrat lisääntyvät?

- Kyllä
- Ei

E1: Jos vastasit kyllä, millaisia muutoksia olet havainnut?

- Vuodon määrä vähenee
- Vuodon määrä lisääntyy
- Vuodon kesto lyhenee
- Vuodon kesto pidentyy
- Kuukautiseni jäävät pois