

**RAUTASTATUKSEN YHTEYS MAKSIMAALISEEN HAPENOTTOKYKYYN JA
SUORITUSKYKYYN NAISKESTÄVVYYSURHEILJOILLA**

Veera Kinnunen

Liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

TIIVISTELMÄ

Kinnunen, V. 2024. Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottookykyyn ja suorituskyykyyn naiskestävyyssurheilijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian kandidaatin tutkielma, 38 s.

Rauta on ihmiselle välttämätön hivenaine, sillä se osallistuu elimistössä hapenkuljetukseen sekä energia-aineenvaihduntaan. Raudan merkitys korostuu urheilijoilla, sillä heikentyneen rautastatuksen on osoitettu laskevan suorituskyykyä johtuen heikentyneestä hapenkuljetuksesta ja oksidatiivisesta kapasiteetista. Heikentyneelle rautastatukselle altistavat raudan liian vähäinen saanti, sen kasvanut menetys ja puutteellinen imeytyminen. Raudanpuutteen riski sekä esiintyvyys ovat naiskestävyyssurheilijoilla korkeammat verrattuna muuhun väestöön. Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella rautastatuksen yhteyttä maksimaalisen hapenottookykyyn sekä suorituskyykyyn naiskestävyyssurheilijoilla.

Tutkimuksen aineisto on kerätty poikkileikkausasetelmana Jyväskylän yliopiston NoREDS-tutkimuksesta vuosien 2021–2023 välillä. Tutkimukseen osallistui 62 perustervettä vähintään kansallisen tason naisurheilijaa. Heistä 28 oli eri kestävyyslajien urheilijoita ja 34 oli tavoitteellisesti urheilevia kontrolleja ilman kestävyysurheilutaustaa. Tutkittavien rautastatusta arvioitiin verinäytteestä mitattujen seerumin ferritiinin (S-Ferrit), hemoglobiinin (Hb) ja hematokriitin (Hkr) avulla. Tutkittavien maksimaalista hapenottookykyä ($VO_2\max$) ja suorituskyykyä (teoreettinen hapenkulutus, Teor $VO_2\max$) arvioitiin suoran hapenottookykytestin avulla. Rautastatuksen ja suorituskyykytuuttujen välisiä yhteyksiä tarkasteltiin heikentyneen (S-Ferrit < 30 $\mu\text{g/l}$) ja normaalin (S-Ferrit > 30 $\mu\text{g/l}$) rautastatuksen ryhmissä.

Tutkittavista 22:lla esiintyi heikentynyt rautastatus (S-Ferrit < 30 $\mu\text{g/l}$). Heistä kolmella rautavarastot olivat selkeästi heikentyneet (S-Ferrit < 15 $\mu\text{g/l}$). Kahden tutkittavan hemoglobiini sekä hematokriitti olivat alle viitearvojen (Hb < 117 g/l, Hkr < 35 %). Kenelläkään tutkittavista ei kuitenkaan havaittu raudanpuuteanemiaa. Koeryhmän $VO_2\max$ sekä Teor $VO_2\max$ olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeammat verrattuna kontrolliryhmään ($p < 0,001$). Normaalin rautastatuksen havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä sekä $VO_2\max$:iin ($p < 0,01$) että Teor $VO_2\max$:iin ($p < 0,001$). Lisäksi heikentyneen rautastatuksen havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä Teor $VO_2\max$:iin ($p < 0,05$), mutta ei $VO_2\max$:iin.

Tutkimuksen perusteella normaali rautastatus on mahdollisesti vähäisesti yhteydessä maksimaaliseen hapenottookykyyn. Puolestaan rautastatuksen yhteys teoreettisen hapenkulutuksen avulla tarkasteltuun suorituskyykyyn nähdään tutkimuksessa selkeämpänä. Tulosten yleistettävyyttä rajoittavat kuitenkin tarkasteltavien ryhmien koko sekä epätasaisuus. Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia lisää eri rautastatusten ja suorituskyyvyn välistä yhteyttä sekä tarkastella rautastatusta useampien rautaparametrien avulla. Jatkotutkimuksen avulla urheilijoiden rautastatusta ja sen vaikutuksia suorituskyykyyn voitaisiin ymmärtää kokonaisvaltaisemmin.

Asiasanat: rautastatus, seerumin ferritiini, maksimaalinen hapenottookyky, teoreettinen hapenkulutus, suorituskyyky, naiskestävyyssurheilija

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO.....	1
2	RAUTASTATUS	2
2.1	Heikentynyt rautastatus	3
2.2	Rautastatuksen määrittäminen	5
2.2.1	Ferritiini	6
2.2.2	Hemoglobiini	6
2.2.3	Hematokriitti.....	7
2.3	Heikentyneen rautastatuksen esiintyvyys naisurheilijoilla.....	8
3	KESTÄVYYSSUORITUSKYKY	9
3.1	Maksimaalinen hapenottokyky.....	9
3.2	Heikentyneen rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn	11
3.3	Heikentyneen rautastatuksen yhteys kestävyysuorituskykyyn	14
4	TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT	18
5	TUTKIMUSMENETELMÄT	19
5.1	Tutkittavat.....	19
5.2	Tutkimusasetelma ja aineiston keruu	19
5.3	Tilastolliset analyysimenetelmät	21
6	TULOKSET	22
6.1	Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn	23
6.2	Rautastatuksen yhteys kestävyysuorituskykyyn	26
7	POHDINTA.....	30
7.1	Tulosten tarkastelu.....	30
7.1.1	Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn	30
7.1.2	Rautastatuksen yhteys kestävyysuorituskykyyn	32

7.2 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet.....	34
7.3 Johtopäätökset	37
LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

Kestävyysuorituskykyä määrittävät useat tekijät kuten maksimaalinen hapenotto-kyky, kyky työskennellä pitkään lähellä maksimaalista hapenotto-kykyä sekä suorituksen taloudellisuus. Vaikka maksimaalinen hapenotto-kyky ei ole ainoa suorituskykyyn vaikuttava tekijä, sitä käytetään usein fyysisen suorituskyvyn arvioimiseen. Maksimaaliseen hapenotto-kykyyn vaikuttavat muun muassa elimistön kyky siirtää happea keuhkoista lihaksiin sekä oksidatiivinen kapasiteetti, eli lihasten kyky käyttää happea fyysisen kuormituksen aikana. (Basset & Howlay 2000) Yhtenä keskeisenä hapenkuljetukseen ja oksidatiiviseen kapasiteettiin vaikuttavana tekijänä pidetään puolestaan elimistön rautaa (DellaValle & Haas 2012; Lamanca & Haymes 1993).

Rauta on elimistölle välttämätön hivenaine, sillä se osallistuu hapenkuljetukseen, energia-aineenvaihduntaan, välittäjäaineiden tuotantoon sekä solujen immuunivasteisiin (Houston ym. 2018; McClung 2012; Milman 2011). Raudan merkitys kestävyysurheilijoille on keskeinen, sillä sen nähdään olevan yhteydessä suorituskykyyn hapenkuljetuksen sekä oksidatiivisen kapasiteetin kautta (Clénin ym. 2015; Hinton ym. 2000). Raudanpuutteen ja suorituskyvyn välistä yhteyttä on tutkittu viimeisten vuosikymmenien aikana. Tutkimusta on tehty etenkin naisilla ja eri kestävyyslajien urheilijoilla, sillä etenkin naiskestävyysurheilijat ovat suuressa riskissä raudanpuutteelle (Alaunyte ym. 2015). Tutkimukset ovat pääosin osoittaneet raudanpuutteen ja raudanpuuteanemian heikentävän kestävyysuorituskykyä (Clénin ym. 2015; DellaValle & Haas 2011; Haas & Brownlie 2001).

Vaikka raudanpuute on yleinen puutostila naiskestävyysurheilijoiden keskuudessa, tutkimustieto eri rautastatusten vaikutuksista kestävyysurheilijoilla on vielä rajallista. Onkin perusteltua jatkaa tutkimusta siitä, miten eri rautastatukset vaikuttavat kestävyysuorituskykyyn sekä siihen vaikuttaviin tekijöihin. Tämän tutkielman tarkoituksena on tarkastella heikentyneen ja normaalin rautastatusten yhteyttä maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ja suorituskykyyn naiskestävyysurheilijoilla. Tutkielma pyrkii lisäämään ymmärrystä siitä, onko jo heikentyneellä rautastatuksella yhteyttä heikompaan maksimaaliseen hapenotto-kykyyn ja suorituskykyyn. Lisäksi tutkielma tarkastelee sitä, mistä mahdolliset yhteydet voivat johtua.

2 RAUTASTATUS

Rautastatus kuvaa elimistön raudan tilaa (Pfeiffer & Looker 2017). Elimistössä on rautaa keskimäärin noin 35–50 mg/kg, josta suurin osa, noin kaksi kolmasosaa, on hemoglobiinin muodossa (Sinisalo & Collin 2021). Loput raudasta on varastoituneena maksaan ja luuytimeen (Pfeiffer & Looker 2017). Lisäksi rautaa on elimistössä pieninä määrinä sitoutuneena ferritiiniin, myoglobiiniin ja sytokromeihin sekä erilaisten hemiyhdisteiden muodossa ja yhdistettynä raudankuljettajaproteiini transferriniin veriplasmassa (Hall & Hall 2021, 444). Elimistön rautastatukseen vaikuttavat keskeisesti raudan saanti, imeytyminen sekä menetys (Clénin ym. 2015).

Raudan saanti. Rautaa saadaan ravinnosta kahdessa eri muodossa: hemi- ja ei-hemirautana. Hyvin imeytyvää hemirautaa saadaan eläinperäisistä elintarvikkeista ja heikommin imeytyvää ei-hemirautaa kasvipärisistä elintarvikkeista. (Alaunyte ym. 2015; Milman 2011) Hemiraudasta imeytyy aterialla noin 5–35 %:a, kun taas ei-hemiraudasta 2–20 %: a. Ravinnosta saatavan raudan pääasiallinen muoto on ei-hemirauta. (Beard & Tobin 2000) Naisten suositellaan saavan rautaa ruokavaliosta 15 mg:aa päivittäin (Hall & Hall 2021, 444–445).

Raudan imeytyminen. Rauta imeytyy ohutsuolesta elimistöön: rauta yhdistyy apotransferriniin kanssa muodostaen transferriniin, jota kuljetetaan plasmassa. Sidos on löyhä ja rauta voidaan vapauttaa mihin tahansa kudokseen kehossa. Solun sytoplasmassa rauta yhdistyy taas apoferritiinin kanssa muodostaen ferritiiniä. Rautaa imeytyy elimistöön 1–2 mg:aa päivässä eli menetetyt raudan määrän verran. (Hall & Hall 2021, 444–445)

Raudan menetys. Naiset menettävät keskimäärin 1,3 mg rautaa päivittäin (Hall & Hall 2021, 444–445). Raudan menetys johtuu pääosin ruoansulatuskanavan epiteelin irtoamisesta sekä kuukautisista (Clénin ym. 2015). Kuukautisten aikana rautaa poistuu elimistöstä noin 15–30 mg:aa kuukautisveren mukana (McArdle 2015, 65). Lisäksi rautaa poistuu elimistöstä ulosteen sekä muun verenvuodon mukana (Hall & Hall 2021, 444–445).

Kehon kokonaisraudan määrää kontrolloidaan säätelemällä raudan imeytymistä (Alaunyte ym. 2015). Raudan imeytymisen säätely tapahtuu maksan tuottaman hepsidiini-hormonin avulla. Hepsidiini estää raudan imeytymistä suolesta sekä sen vapautumista makrofageista. (Sinisalo & Collin 2016) Hepsidiinin pitoisuuden vaikuttavat puolestaan elimistön rautastatus,

tulehdustila sekä fyysinen kuormitus. Kun elimistön rautastatus on normaali, plasman rautapitoisuus säätelee hepsidiinin eritystä. Puolestaan raudanpuute laskee hepsidiinin eritystä, jolloin rautaa pääsee imeytymään enemmän verenkiertoon. Tulehdustilassa hepsidiinin pitoisuus lisääntyy inflammatoristen sytokiinien, kuten interleukiini 6:n johdosta, mikä heikentää raudan imeytymistä verenkiertoon. (Restrepo-Gallego ym. 2021) Myös fyysinen kuormitus nostaa hepsidiinin pitoisuutta (Clénin ym. 2015) Raudan imeytymisen säätelyyn vaikuttaa hepsidiinin lisäksi elimistön rautastatus sekä ravinnosta saadun raudan määrä. Henkilöllä, jolla on normaali rautastatus, rautaa imeytyy vähemmän verrattuna henkilöön, jolla on heikentynyt rautastatus. (Alaunyte ym. 2015) Rautastatuksen lisäksi ravinnon sisältö vaikuttaa raudan imeytymiseen. Esimerkiksi C-vitamiini, liha sekä kala edistävät raudan imeytymistä. Puolestaan fytaatit, fenolihdisteet ja kalsium heikentävät sitä. (Alaunyte ym. 2015; Clénin ym. 2015)

Jos raudan saanti ei ole riittävää verrattuna sen menetykseen tai jos sen imeytymisessä on huomattavia puutteita, elimistön rautastatus heikkenee. Rautastatuksen heikentyminen johtaa usein raudanpuutteeseen. (Clénin ym. 2015) Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin raudanpuutteen eri asteita sekä tekijöitä, jotka lisäävät raudanpuutteen riskiä.

2.1 Heikentynyt rautastatus

Heikentyneellä rautastatuksella viitataan tilaan, jossa elimistön rautavarastot eivät ole enää riittävät vastaamaan raudan tarvetta ja raudan kulutus ylittää sen saannin (Clénin ym. 2015). Rautastatuksen heikentyminen johtaa usein raudanpuutteeseen. Raudanpuute voidaan luokitella kolmeen eri asteeseen raudanpuutteen vakavuuden perusteella: rautastatuksen eheytyminen, marginaalinen raudanpuute ja raudanpuuteanemia. Rautastatuksen eheytyminen on tila, jossa rautavarastot ovat tyhjentyneet eli ferritiiniarvot ovat laskeneet, mutta raudasta riippuvaisten proteiinien tuotanto on normaalia ja hemoglobiinikonsentraatio on viitearvoissa. Marginaalisessa raudanpuutteessa rautavarastot ovat ehtyneet, raudasta riippuvaisten proteiinien tuotto on heikentynyt, mutta hemoglobiiniarvot ovat edelleen viitearvoissa. Raudanpuutteesta ilman anemiaa käytetään myös termiä IDWA (iron deficiency without anemia). Raudanpuutteen vakavimmassa tilassa, raudanpuuteanemiassa, rautavarastojen ehtymisen ja proteiinien tuoton heikentymisen lisäksi myös hemoglobiinikonsentraatio on laskenut alle viitearvojen. (Brownlie ym. 2002)

Heikentyneen rautastatuksen kehittyminen. Heikentyneen rautastatuksen taustalla voi olla usea eri tekijä, kuten riittämätön raudansaanti, lisääntynyt raudantarve, raudan heikentynyt imeytyminen tai kasvanut raudan menetys (Clénin ym. 2015; McClung 2012; Milman 2011). Lisäksi fyysinen aktiivisuus ja etenkin kestävyysurheilu kasvattavat raudanpuutteen riskiä (Alaunyte ym. 2015). Riittämätön raudan saanti ravinnosta heikentää rautastatusta ja voi aiheuttaa raudanpuutteen. Etenkin kasviperäisiä ei-hemirautaa sisältäviä elintarvikkeita yksinomaan nauttivilla on suurempi riski raudanpuutteelle kuin säännöllisesti eläinperäisiä hemirautaa sisältäviä elintarvikkeita käyttävillä. Syynä tähän on ei-hemiraudan heikompi imeytyminen verrattuna hemirautaan. (Milman 2011) Lisääntynyttä raudan tarvetta ja menetystä nostaa puolestaan fyysinen aktiivisuus (Clénin ym. 2015). Rungas ja kovatehoinen kestävyysurheilu kasvattaa hemoglobiinimassaa, joka lisää raudan tarvetta. Lisäksi etenkin iskuttavissa kestävyyslajeissa suoliston verenvuoto ja hemolyysi eli punasolujen hajoaminen lisääntyvät. Tämä lisää raudan menetyksiä. (Ganz & Nemeth 2012) Raudan imeytymistä heikentävät puolestaan intensiivisen harjoittelun seurauksena lisääntyneiden tulehdustekijöiden ja hepsidiinin määrä (Latunde-Dada 2012; McClung 2012). Hepsidiinin lisääntyminen estää sekä raudan imeytymistä että raudan siirtymistä makrofageista erythroblasteihin ja voi mahdollisesti aiheuttaa raudanpuutetta (Clénin ym. 2015). Raudan imeytymistä heikentää lisäksi sen imeytymistä tehostavien ravintoaineiden, kuten C-vitamiinin puutteellinen saanti (Alaunyte ym. 2015). Lisäksi runsaat kuukautiset tai toistuva kohtuverenvuoto gynekologisen sairauden vuoksi suurentavat raudanpuutteen riskiä naisilla (Clénin ym. 2015).

Raudanpuuteanemian kehittyminen. Kun raudan menetys on suurempaa kuin ravinnosta saadun raudan imeytyminen, rautavarastot tyhjenevät ja ferritiinitaso laskee (Clénin ym. 2015). Tämä heikentää hemoglobiinin tuotantoa ja vähentää punasolujen hemoglobiinipitoisuutta. Rauta on välttämätön rakennusaine hemoglobiinin muodostumisessa punasolujen esiasteissa eli erythroblasteissa. Riittämättömän raudan saannin seurauksena hemoglobiinin tuotanto häiriintyy luuytimessä, mikä johtaa punasolujen määrän vähenemiseen verenkierrossa. Tämä johtaa myöhemmin raudanpuuteanemian kehittymiseen, jolloin hemoglobiinipitoisuus on alhainen (< 120 g/l). (Milman 2011)

2.2 Rautastatuksen määrittäminen

Elimistön rautavarastojen suuruutta voidaan arvioida luuydinraudan määrän avulla. Koska luuydinraudan määrää ei voida mitata, rautavarastoja arvioidaan usein seerumin ferritiinin (S-Ferrit) avulla, joka heijastaa luuytimen raudan määrää. (Pfeiffer & Looker 2017) Ferritiini on yleisimmin käytetty parametri raudanpuutteen arvioinnissa. Ferritiinin lisäksi raudanpuutetta voidaan tarkastella hemoglobiinin ja hematokriitin avulla. (Clénin ym. 2015) Erityisesti raudanpuuteanemian selvittämisessä veren hemoglobiinipitoisuus on keskeinen indikaattori (Pfeiffer & Looker 2017). Yleisesti ferritiinin ja hemoglobiinin yhdessä nähdään olevan tehokkaimmat indikaattorit raudanpuutteen arvioimiseksi (Mei ym. 2005).

Raudanpuutteen raja-arvot vaihtelevat eri lähteiden välillä, eikä kirjallisuudessa ole määritelty ehdottomia raja-arvoja eri raudanpuutteiden asteille. Maailman terveysjärjestön (WHO) mukaan ferritiinin ollessa alle 15 µg/l kyseessä on raudanpuute (WHO 2020). Puolestaan Clénin ym. (2015) mukaan ferritiinin ollessa alle 15 µg/l puhutaan tyhjistä rautavarastoista, 15–30 µg/l matalista rautavarastoista ja yli 30 µg/l normaaleista rautavarastoista. Ebelingin ym. (2019) mukaan, kun henkilön ferritiiniarvot ovat 15–30 µg/l kuuluu hän raudanpuutteen riskiryhmään, ja on todennäköistä, että rautastatus on jo heikko. Raudanpuuteanemia määritetään puolestaan, kun ferritiini on alle 15 µg/l ja hemoglobiini on alle 120 g/l (Brownlie ym. 2002).

Raudanpuutteen arvioimisessa on otettava huomioon mahdolliset mitattuja rautaparametriarvoja vääristävät tekijät, kuten tulehdustila. Tulehdustila vaikuttaa erityisesti seerumin ferritiinin tulkintaan, sillä infektion aikana seerumin ferritiinin pitoisuus kasvaa, vaikka todellisuudessa rautavarastot olisivat alhaiset (Daru ym. 2017). Pfeifferin ja Lookerin (2017) mukaan tulehdustila voi näkyä myös alentuneena hemoglobiiniarvona. Akuutin infektion poissulkemiseksi voidaan mitata verestä C-reaktiivisen proteiinin (CRP) pitoisuus, joka kasvaa tulehduksessa. Tulehdustilassa raudanpuutetta voidaan tarkastella liukoisen transferrinireseptorin (TfR) konsentraation avulla, sillä infektio ei muuta sen pitoisuutta niin kuin seerumin ferritiinin. (Daru ym. 2017)

2.2.1 Ferritiini

Ferritiini on rautaa varastoiva proteiini, jonka mittaaminen heijastaa elimistön rautavarastojen määrää (Pfeiffer & Looker 2017). Ferritiini määritetään verikokeella seerumin eli veren soluttoman osan ferritiinikonsentraation avulla (Daru ym. 2017). WHO on määrittänyt naisten ferritiinin viitearvoiksi 15–150 µg/l (WHO 2020). Alhainen alle viitearvojen oleva ferritiinipitoisuus voi viitata raudanpuutteeseen (Sinisalo & Collin 2016).

Kuitenkin Cookin ym. (1992) mukaan seerumin ferritiini ei kerro enää raudanpuutteen vakavuudesta, kun rautavarastot ovat täysin tyhjentyneet. Näin ollen pidetään ferritiiniä parempana indikaattorina arvioimaan rautatasojen riittävyttä kuin heikentyntä rautastatusta (Cook ym. 1992). Ferritiiniarvoja tarkastellessa on kuitenkin huomioitava, etteivät normaalit tai lievästi suurentuneet ferritiinipitoisuudet sulje aina pois raudanpuutteen mahdollisuutta (Sinisalo & Collin 2016). Ferritiini on akuutin faasin proteiini, joten veren ferritiinipitoisuus voi nousta tulehduksen aikana, vaikka todellisuudessa rautavarastot olisivat heikentyneet (Clénin ym. 2015). Näin ollen ferritiiniä ei voida käyttää yksinään ilmaisemaan raudanpuutetta. Usein heikentyneen rautastatuksen määrittämisessä tarkastellaan ferritiinin lisäksi hemoglobiiniarvoa. (Cook ym. 1992)

2.2.2 Hemoglobiini

Hemoglobiini (Hb) on rautapitoinen happea sitova proteiini, joka muodostaa punasolusta kolmasosan. Hemoglobiinia muodostuu luuytimessä punasolujen muodostusvaiheessa, punasolujen ollessa vielä proerytroblasteja. Hemoglobiinin muodostus jatkuu, kunnes punasolut poistuvat luuytimestä. Hemoglobiini koostuu toisiinsa sitoutuneista hemi- ja globiini-osista. Hemoglobiiniketjua on neljää eri tyyppiä: alfa-, beeta-, gamma- ja deltaketju. Yleisin ketjutyyppe hemoglobiini-A (alfaketju) koostuu kahdesta α-globiini- ja kahdesta β-globiini-alayksiköstä sekä neljästä hemiyhdisteestä. Kukin hemi sisältää yhden rauta-atomin, joka voi sitoa yhden happimolekyylin. Näin ollen yhdessä hemoglobiinimolekyylissä voidaan kuljettaa neljä happimolekyyliä tai kahdeksan happiatomia. Hemoglobiinin ensisijainen tehtävä elimistössä on yhdistyä hapen kanssa keuhkoissa ja kuljettaa happea kudoksiin. (Hall & Hall 2021, 444)

Suomessa hemoglobiinin viitearvot naisilla ovat 117–155 g/l (Terveyskirjasto 2022). Puolestaan WHO:n mukaan naisten hemoglobiiniarvon tulisi olla yli 120 g/l. Jos hemoglobiini on alle viitearvon, kutsutaan tilaa anemiaksi. (WHO 2011) Anemialla tarkoitetaan liian vähäistä hemoglobiinin määrää veressä. Tämä voi johtua liian vähäisestä punasolujen määrästä tai hemoglobiinin määrästä punasoluissa. Yleisin syy anemialle on raudanpuute. (Hall & Hall 2021, 446) Hemoglobiinin avulla ei voida pelkästään määrittää raudanpuutetta (Woolf ym. 2009). Tämän vuoksi hemoglobiinin lisäksi mitataan myös ferritiini. Raudanpuuteanemiaa määritettäessä veren hemoglobiinikonsentraatio on kuitenkin tärkeä mitattava rautaparametri (Mei ym. 2005).

Hemoglobiinissa tapahtuu muutoksia vasta raudanpuutteen myöhäisvaiheessa, kun raudanpuute on johtanut anemiaan. Näin ollen hemoglobiiniarvot voivat olla viitearvoissa myös raudanpuutteessa. (Woolf ym. 2009) Hemoglobiinikonsentraatiota tarkastellessa on myös huomioitava, että veren hemoglobiinipitoisuus saattaa laskea tulehduksen seurauksena riippumatta kehon raudan määrästä. Puolestaan nestehukka, tupakointi sekä korkea ilmanala voivat nostaa veren hemoglobiinitasoja. (Pfeiffer & Looker 2017)

2.2.3 Hematokriitti

Hematokriitilla (Hkr) tarkoitetaan punasolujen suhteellista osuutta koko veren tilavuudesta eli verisuonistossa kiertävästä veren kokonaismäärästä (Sharma & Sharma 2023; Tunturi 2022). Naisilla hematokriitin viitearvot ovat 35–46 %. Hematokriitti mitataan usein perusveren kuvan yhteydessä. (Tunturi 2022)

Hematokriitti ei kerro suoraan rautastatuksen heikentymisestä tai raudanpuutteesta. Alhainen hematokriitti viittaa kuitenkin myös alhaiseen hemoglobiiniin, sillä muuttujat ovat yleensä samansuuntaiset. (Tunturi 2022) Koska alhainen hemoglobiini viittaa anemiaan, myös hematokriitin nähdään viittaavan siihen (Clénin ym. 2015). Anemiassa rautastatus on huomattavasti heikentynyt, joten matalat hematokriittiarvot voivat olla raudanpuuteanemian merkinä (Brownlie ym. 2002). Hematokriitissa tapahtuu hemoglobiinin tavoin muutoksia vasta raudanpuutteen myöhäisvaiheessa. Näin ollen raudanpuutetta voi ilmetä, vaikka hematokriitti olisi viitearvoissa. (Woolf ym. 2009)

2.3 Heikentyneen rautastatuksen esiintyvyys naisurheilijoilla

Naiskestävyysurheilijoilla raudanpuutteen riski ja esiintyvyys ovat korkeammat verrattuna muuhun väestöön (Alaunyte ym. 2015; Beard & Tobin 2000). Naisurheilijoilla rautastatusta heikentävät ja raudanpuutteen riskiä suurentavat muun muassa riittämätön energian- ja raudansaanti ruoasta, raudanmenetys kuukautisten aikana sekä raudan heikentynyt imeytyminen harjoittelun seurauksena (McClung 2012). McClungin (2019) mukaan seerumin ferritiinipitoisuuden on raportoitu laskevan jopa 25 % naisurheilijoilla harjoitusjakson aikana.

Taulukossa 1 on esitetty raudanpuutteen esiintyvyys naiskestävyysurheilijoilla eri tutkimuksissa. Rautastatus on määritetty tutkimuksissa seerumin ferritiinin avulla ja sen raja-arvo vaihtelee tutkimuksittain 12–20 µg/l välillä (taulukko 1). Raudanpuutteen esiintyvyys vaihtelee eri tutkimuksissa 27–50 % välillä (Alaunyte ym. 2014; Auersperger ym. 2013; DellaValle & Haas 2011; DellaValle & Haas 2012; Pate ym. 1993).

TAULUKKO 1. Raudanpuutteen esiintyvyys naiskestävyysurheilijoilla eri tutkimusten mukaan.

Tutkimus	N	Laji	S-Ferrit arvo (µg/l)	raja- Raudanpuutteen esiintyvyys
Alaunyte ym. (2014)	11	Kestävyysjuoksu	< 12	36 %
Auersperger ym. (2013)	14	Kestävyysjuoksu	< 20	50 %
DellaValle ja Haas (2012)	165	Soutu	< 20	27 %
DellaValle ja Haas (2011)	149	Soutu	< 20	30 %
Pate ym. (1993)	111	Kestävyysjuoksu	< 20	50 %

3 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

Kestävyys voidaan määritellä kyvyksi ylläpitää tiettyä nopeutta tai tehoa mahdollisimman pitkään (Jones & Carter 2000). Bassettin ja Howleyn (2000) mukaan yksilön kestävyys suorituskykyyn vaikuttavat maksimaalinen hapenotto kyky (VO_{2max}), kyky työskennellä pitkään lähellä maksimaalista hapenotto kykyä sekä kestävyys suorituksen taloudellisuus. Lisäksi kestävyys suorituskykyyn vaikuttaa hermolihasjärjestelmän kyky tuottaa tehoa (Paavolainen ym. 1999). Kestävyys suorituskyvyn merkitys korostuu erityisesti urheilusuorituksissa, joiden kesto on vähintään kaksi minuuttia. Kestävyys harjoittelu voidaan jakaa perus-, vauhti- ja maksimikestävyteen. (Nummela & Häkkinen 2016, 272)

Kestävyys harjoittelun on osoitettu aiheuttavan useita eri adaptaatioita, jotka parantavat kardiorespiratorisen järjestelmän sekä hermolihasjärjestelmän toimintaa (Jones & Carter 2000). Kestävyys harjoittelu tehostaa aerobisten entsyymien aktiivisuutta, mikä parantaa oksidatiivista kapasiteettia. Tämän seurauksena lihasten kyky hyödyntää happea paranee. Lisäksi kestävyys harjoittelu kasvattaa sydämen vasemman kammion seinämän paksuutta ja tilavuutta, sydämen supistumiskykyä, veren volyymia sekä hiussuonten määrää. Nämä muutokset mahdollistavat sydämen iskutilavuuden kasvun eli sydän kykenee pumppaamaan enemmän verta yhden lyönnin aikana. Iskutilavuuden kasvaessa myös minuuttitilavuus eli sydämen minuutissa elimistöön pumppaama verimäärä kasvaa. Kestävyys harjoittelu parantaa myös hiilihydraattien ja rasvojen varastointia sekä lisää rasvojen käyttöä kuormituksen aikana. Kestävyys harjoittelu tehostaa myös laktaatin käsittelyä. (Hauswirth & Le Meur 2012, 5–6) Kyseisten adaptaatioiden myötä hapenkuljetus kudoksiin sekä lihasten aineenvaihdunta tehostuu ja näin kestävyys suorituskyky paranee (Jones & Carter 2000).

3.1 Maksimaalinen hapenotto kyky

Maksimaalisella hapenotto kyvyllä kuvataan elimistön maksimaalista kykyä ottaa happea kehoon ja hyödyntää sitä raskaan kuormituksen aikana. Maksimaalinen hapenotto kyky vaikuttaa keskeisesti yksilön kestävyys suorituskykyyn, sillä se määrittää fysiologisen ylärajan kehon kyvyille kuluttaa happea. (Bassett & Howley 2000) Kuitenkaan VO_{2max} ei ole ainoa kestävyys suorituskykyä määrittävä tekijä. Maksimaalisen hapenotto kyvyn lisäksi anaerobisen ja aerobisen kynnystehon sekä suorituksen taloudellisuuden on havaittu olevan merkittäviä

kestävyyssuorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä (Jones & Carter 2000). Maksimaalista hapenottokykyä voidaan mitata suoralla hapenottokykytestillä (Haas & Brownlie 2001). $VO_2\text{max}$ määritetään usein testin korkeimman hapenkulutusminuutin keskiarvona ja arvo voidaan ilmoittaa joko absoluuttisena tilavuutena minuutissa (l/min) tai suhteutettuna kehonpainoon (ml/kg/min) (Nummela & Peltonen 2018, 94–95). Maksimaalinen hapenkulutus voidaan myös arvioida teoreettisesti (Teor $VO_2\text{max}$) eri kaavojen avulla eri lajien urheilijoille (Nummela & Peltonen 2018, 80–84).

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat useat eri fysiologiset tekijät kuten sydämen minuuttitilavuus, veren hapenkuljetuskyky, hemoglobiinikonsentraatio, oksidatiivinen kapasiteetti sekä keuhkojen diffuusiokapasiteetti (Bassett & Howley 2000; McArdle ym. 2015, 166). Kyseiset fysiologiset tekijät määrittävät $VO_2\text{max}$:ia, mutta voivat joissain tilanteissa myös rajoittaa sitä ja sen kehittymistä (McArdle ym. 2015, 166). Bassettin ja Howleyn (2000) mukaan keskeisimmät $VO_2\text{max}$:iin vaikuttavat tekijät ovat sydämen minuuttitilavuus sekä veren volyyymi. Sydämen minuuttitilavuuden nähdään olevan suoraan positiivisesti yhteydessä $VO_2\text{max}$:iin ja se voi selittää $VO_2\text{max}$:ista jopa 70–85 prosenttia (Cerrettelli & Di Prampero 1987). Monteron ja Díaz-Cañestron (2016) mukaan maksimalinen hapenottokyky kehittyy pääosin sydämen minuuttitilavuuden kasvun myötä. Lisäksi $VO_2\text{max}$:ia kasvattaa veren volyymin lisääntyminen, joka lisää veren hapenkuljetuskapasiteettia (Bassett & Howley 2000). Veren hapenkuljetuskyky on puolestaan riippuvainen hemoglobiinista. Näin ollen veren volyymin ja hemoglobiinin laskiessa veren hapenkuljetuskyky heikkenee, mikä voi laskea $VO_2\text{max}$:ia. (McArdle ym. 2015, 278) Kuitenkin veren hemoglobiinipitoisuus kuvaa vain hemoglobiinin suhteellista määrää litrassa verta, eikä huomioi veren koko tilavuutta. Tämän takia veren hemoglobiinipitoisuus ei yksinään kykene kuvaamaan veren hapenkuljetuskykyä (Nummela 2017). Oksidatiivinen kapasiteetti eli lihasten kyky käyttää happea heikentää $VO_2\text{max}$:ia, mutta ei kuitenkaan ole pääasiallinen $VO_2\text{max}$:ia rajoittava tekijä (Bassett & Howley 2000). Kun halutaan maksimoida $VO_2\text{max}$:in kehitys, työskentelevien lihasten hiussuonituksen ja mitokondrioiden aerobisten ominaisuuksien on kuitenkin kehityttävä (Hauswirth & Le Meur 2012, 4). Keuhkojen diffuusiokapasiteettia pidetään $VO_2\text{max}$:ia rajoittavana tekijänä vain paljon harjoitelleilla kestävyysurheilijoilla (Powers ym. 1989).

Etenkin kestävyysharjoittelun on osoitettu kehittävän $VO_2\text{max}$:ia. Kestävyysharjoittelun aikaansaamia muutoksia kardiorespiratorisessa järjestelmässä, ja etenkin sydämen minuuttitilavuuden kasvua, pidetään merkittävinä $VO_2\text{max}$:ia kehittävinä tekijöinä. (Montero

& Díaz-Cañestro 2016) Harjoittelun ja sen aikaan saamien fysiologisten muutosten lisäksi VO₂max:iin vaikuttavat myös muut tekijät, kuten perinnöllisyys ja ympäristötekijät (Bouchard ym. 1998). Schutten ym. (2016) mukaan perinnölliset tekijät voi selittää VO₂max:ista jopa 72 %, kun arvo on suhteutettu kehonpainoon. Lisäksi harjoittelemattomilla henkilöillä maksimaaliseen hapenottokykyyn on myös havaittu vaikuttavan sukupuoli, pituus ja paino (Hulkkonen ym. 2014).

3.2 Heikentyneen rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokykyyn

Heikentyneen rautastatuksen ja maksimaalisen hapenottokyvyn välistä yhteyttä on tutkittu laajalti. Tutkimukset ovat erityisesti keskittyneet raudanpuuteanemian tai IDWA:n sekä VO₂max:in väliseen yhteyteen. Kuitenkin raudanpuuteanemian yhteyttä VO₂max:iin on tutkittu enemmän kuin raudanpuutteen ilman anemiaa. Useiden tutkimusten mukaan raudanpuuteanemian on osoitettu heikentävän VO₂max:ia (Celsing ym. 1986, Li ym. 1994, Woodson ym. 1978). Alle viitearvojen laskeneen hemoglobiinin on havaittu heikentävän hapenkuljetusta, mikä puolestaan heikentää maksimaalista hapenottokykyä (McClung 2019). Haasin ja Brownlien (2001) mukaan VO₂max voi olla jopa 50 % alhaisempi henkilöllä, jolla on anemia verrattuna henkilöön, jolla on normaali ei-aneeminen tila.

IDWA:n yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn on tutkittu vähemmän, ja tulokset ovat olleet ristiriitaisia. Kuitenkin on saatu tuloksia, jotka viittaavat siihen, että myös raudanpuutteella ilman anemiaa on vaikutusta VO₂max:iin. Raudanpuute heikentää rautaa sisältävien oksidatiivisten entsyymien toimintaa, jolloin kudosten oksidatiivinen kapasiteetti heikentyy (Lamanca & Haymes 1993). Kudosten kyky käyttää happea nähdään mahdollisesti heikentävän VO₂max:ia, vaikka oksidatiivinen kapasiteetti ei ole pääasiallinen VO₂max:ia rajoittava tekijä (Bassett & Howley 2000, Nummela 2017). On esitetty, että VO₂max on enemmän riippuvainen veren hapenkuljetuskapasiteetista kuin oksidatiivisesta kapasiteetista (Lamanca & Haymes 1993). Näin ollen raudanpuuteanemia vaikuttaa selkeämmin VO₂max:iin kuin raudanpuute ilman anemiaa.

IDWA:n yhteyttä VO₂max:iin tutkitaan usein rautalisän avulla. Rautalisän avulla saadaan nostettua heikentyneet rauta-arvot ja hemoglobiini takaisin viitearvoihin. (Rajamäki &

Punnonen 1998) Lamanca ja Haymesin (1993) tutkimuksessa tutkittiin kahdeksan viikon mittaisen rautakuurin vaikutusta $VO_2\text{max}$:iin ja kestävyysuorituskykyyn naiskestävyysurheilijoilla. Tutkimukseen osallistui 20 naista, joilla oli raudanpuute ilman anemiamia. IDWA määritettiin, kun S-Ferrit oli alle 20 $\mu\text{g/l}$ ja hemoglobiini oli yli 120 g/l . Tutkittavat jaettiin satunnaisesti koe- ja kontrolliryhmään, joista koeryhmä söi kahdesti päivässä 100 mg rautalisää ja kontrolliryhmä söi vastaavia placebo-tabletteja. Ennen ja jälkeen rautakuurin tutkittavilta mitattiin ferritiini, hemoglobiini ja hematokriitti. Lisäksi he suorittivat polkupyöräergometrillä suoran hapenottookykytestin sekä submaksimaalisen kestävyystestin, joka tehtiin 80 %:n teholla $VO_2\text{max}$:ista. Testien avulla määritettiin tutkittavien $VO_2\text{max}$ -arvot sekä arvioitiin kestävyysuorituskykyä. Intervention jälkeen koeryhmän ferritiini sekä hemoglobiini nousivat tilastollisesti merkitsevästi alkutesteistä. Lisäksi koeryhmän hematokriitti nousi tilastollisesti merkitsevästi verrattuna kontrolliryhmään. Kontrolliryhmän rautaparametrimuutujissa ei havaittu vastaavia muutoksia. Intervention myötä koeryhmän $VO_2\text{max}$ -arvot nousivat 4 % alku- ja loppumittausten välillä, kun taas kontrolliryhmän $VO_2\text{max}$ -arvot laskivat 4 %. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin hemoglobiiniarvojen kasvun olevan tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä $VO_2\text{max}$:in kasvuun. Tutkimus osoittaa, että raudanpuute on yhteydessä alempaan $VO_2\text{max}$:iin ja rautalisän avulla voidaan mahdollisesti nostaa rautatasoja niin, että maksimaalinen hapenottookyky paranee. Lamanca ja Haymes (1993) perustelevat positiivisen muutoksen $VO_2\text{max}$:issa johtuvan lähinnä vain hemoglobiinin noususta, eikä ferritiiniarvojen nousulla nähty olevan vaikutusta $VO_2\text{max}$:in kasvuun (Lamanca & Haymes 1993).

Brownlien ym. (2002) ja Friedmannin ym. (2001) tutkimuksissa havaittiin, että ferritiiniarvon nousu ilman hemoglobiinin nousua vaikuttaa myös $VO_2\text{max}$:iin positiivisesti. Molemmissa tutkimuksissa tutkittiin rautakuurin vaikutusta $VO_2\text{max}$:iin ja kestävyysuorituskykyyn eri kestävyyslajeja harrastavilla urheilijoilla, joilla oli havaittu IDWA. Brownlien ym. (2002) tutkimuksen tutkittavat koostuivat naisista ($n = 41$) ja Friedmannin ym. (2001) tutkimuksen naisista sekä miehistä ($n = 40$). Brownlien ym. (2002) tutkimuksessa IDWA määritettiin, kun S-Ferrit oli alle 16 $\mu\text{g/l}$ ja hemoglobiini oli yli 120 g/l , kun taas Friedmannin ym. (2001) tutkimuksissa IDWA määritettiin, kun S-Ferrit oli alle 20 $\mu\text{g/l}$ ja hemoglobiini oli yli 117 g/l naisilla ja yli 137 g/l miehillä. Molemmissa tutkimuksissa tutkittavat jaettiin satunnaisesti koe- ja kontrolliryhmiin. Brownlien ym. (2002) tutkimuksessa koeryhmä söi kuuden viikon mittaisen intervention ajan 50 mg rautalisää päivittäin ja Friedmannin ym. (2001) tutkimuksessa rautalisää nautittiin päivittäin 100 mg 12 viikon mittaisen interventiojakson ajan.

Molempien tutkimusten kontrolliryhmät söivät interventiona ajan placebo-tabletteja. Molemmissa tutkimuksissa tutkittavilta mitattiin ennen ja jälkeen intervention verestä ferritiini, hemoglobiini ja hematokriitti. Lisäksi he suorittivat suoran hapenottokykytestin joko polkupyöräergometrillä tai juoksumatolla. (Brownlie ym. 2002; Friedmann ym. 2001)

Sekä Brownlien ym. (2002) että Friedmannin ym. (2001) tutkimuksissa havaittiin koeryhmän seerumin ferritiinin nousseen tilastollisesti merkitsevästi alku- ja loppumittausten välillä sekä kontrolliryhmään verrattuna. Kummassakaan tutkimuksessa hemoglobiini eikä hematokriitti muuttunut tilastollisesti merkitsevästi intervention aikana koe- tai kontrolliryhmissä. Brownlien ym. (2002) tutkimuksessa VO₂max-tulos kasvoi molemmissa ryhmissä. Kuitenkin koeryhmän tulos nousi tilastollisesti merkitsevästi enemmän verrattuna kontrolliryhmään. Myös Friedmannin ym. (2001) tutkimuksissa koeryhmän VO₂max nousi tilastollisesti merkitsevästi intervention aikana, mutta kontrolliryhmällä ei havaittu vastaavia tuloksia. Molempien tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että VO₂max -arvot nousevat rautalisän jälkeen ferritiiniarvojen kasvun johdosta, sillä muutoksia ei havaittu hemoglobiini- tai hematokriittiarvoissa. Friedmannin ym. (2001) tutkimuksen mukaan ferritiiniarvojen nousu saa aikaan kudosten oksidatiivisen kapasiteetin lisääntymisen, joka puolestaan kasvattaa VO₂max:ia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että rautastatus on todennäköisesti yhteydessä maksimaaliseen hapenottokykyyn. Brownlien ym. (2002) ja Friedmannin ym. (2001) sekä Lamancan ja Haymesin (1993) tutkimusten perusteella heikentynyt rautastatus laskee VO₂max:ia. Lisäksi tutkimusten mukaan rautastatuksen paraneminen on yhteydessä myös parempiin VO₂max-tuloksiin. Vaikka tutkimuksissa havaittiin yhteys rautastatuksen ja VO₂max:in väliltä, on yhteyttä perusteltu tutkimuksissa eri tekijöillä. Lamancan ja Haymesin (1993) tutkimuksessa VO₂max:in nousua perusteltiin hemoglobiinin nousun ja siitä seuranneen parantuneen hapenkuljetuksen avulla. Puolestaan Brownlien ym. (2002) ja Friedmannin ym. (2001) tutkimuksissa VO₂max:in nousun nähtiin johtuvan ferritiiniarvojen noususta ja sen myötä oksidatiivisen kapasiteetin parantumisesta. Kyseisten tutkimusten perusteella näyttää siltä, että rautastatus vaikuttaa VO₂max:iin sekä hapenkuljetuksen että oksidatiivisen kapasiteetin kautta, mutta ei voida kuitenkaan sanoa kumman tekijän rooli on VO₂max:ia määrittävämpi, sillä molemmista on tutkimusnäyttöä (Brownlie ym. 2002; Friedmann ym. 2001; Lamanca & Haymes 1993).

3.3 Heikentyneen rautastatuksen yhteys kestävyys suorituskykyyn

Rauta on keskeisessä asemassa hapenkuljetuksessa ja energiantuotannossa aerobisen liikunnan aikana (DellaValle & Haas 2012). Tutkimusten mukaan raudanpuutteen ja raudanpuuteanemian on osoitettu vaikuttavan fyysiseen suorituskykyyn sitä heikentävästi (Clénin ym. 2015; DellaValle & Haas 2011; DellaValle & Haas 2012; Haas & Brownlie 2001). Heikentyneestä rautastatuksesta johtuvaa fyysisen suorituskyvyn laskua on osoitettu etenkin naisurheilijoilla (Clénin ym. 2015).

Suorituskykyä voidaan arvioida muun muassa suorituksen keston tai teoreettisen $VO_2\text{max}$:in avulla (Nummela & Peltonen 2018, 65). Kuitenkaan raudanpuutteen ja teoreettiseen $VO_2\text{max}$:in väliltä ei löydy tutkimustietoa. Teoreettisen hapenkulutuksen määrittämiseen hyödynnetään kuitenkin sitä, miten pitkälle testissä on päästy, joten teoreettisen $VO_2\text{max}$:in voidaan nähdä kuvaavan myös testin kestoa. (Nummela & Peltonen 2018, 81–85) Tämän vuoksi, suorituskykyä tarkastellaan tässä luvussa eri lajien kestävyystestien kestojen avulla.

Raudanpuuteanemian ja suorituskyvyn välistä yhteyttä on tutkittu enemmän kuin IDWA:n yhteyttä suorituskykyyn. Haasin ja Brownlien (2001) mukaan raudanpuuteanemia on selkeästi yhteydessä suorituskykyyn vaikuttaviin tekijöihin kuten aerobiseen kapasiteettiin sekä urheilusuorituksen taloudellisuuteen ja näin myös vaikuttaa itse suorituskykyyn. Raudanpuuteanemian nähdään heikentävän suorituskykyä, sillä raudanpuuteanemialle tyypilliset alhaiset hemoglobiinitasot heikentävät hapenkuljetusta perifeerisiin kudoksiin (Hinton ym. 2000). Raudanpuuteanemian on osoitettu heikentävän kestävyys suorituskykyä Celsingin ym. (1986), Celsingin ja Ekblomin (1986) sekä Gardnerin ym. (1977) tutkimuksissa. Kyseisissä tutkimuksissa suorituskykyä on tutkittu erilaisten juokсутestin avulla.

Raudanpuutteen ilman anemiaa (IDWA) yhteyttä suorituskykyyn on tutkittu vähemmän ja tulokset ovat olleet ristiriitaisia. Rubeorin ym. (2018) tutkimuksen mukaan IDWA:n ei havaittu vaikuttavan negatiivisesti hapenkuljetuskapasiteettiin. Kuitenkin McClungin (2019) mukaan heikentynyt rautastatus laskee luurankolihasen myoglobiinipitoisuutta, jonka seurauksena hapenkuljetus lihaksen sisällä heikkenee. Lisäksi niin kuin aiemmin mainittiin, IDWA:n on havaittu aiheuttavan häiriöitä rautaa sisältävien oksidatiivisten entsyymien sekä elektroninsiirtoketjussa toimivien proteiinien toimintaan (McClung 2019). Näiden rautariippuvaisten entsyymien ja proteiinien heikentynyt toiminta heikentää kudosten

oksidatiivista kapasiteettia, mikä puolestaan heikentää kykyä ylläpitää fyysistä suorituskkykyä jopa 65–85 % maksimikapasiteetista (Hinton ym. 2000). Tämän lisäksi on havaittu, että henkilöt, joilla on IDWA, kokevat poikkeavaa lihasväsymystä fyysisen suorituksen aikana (McClung 2019). Näiden löydösten perusteella IDWA:n nähdään vaikuttavan ainakin kestävyysuorituskykyyn vaikuttaviin tekijöihin. Lisäksi Friedmannin ym. 2001, DellaVallen ja Haasin (2011) ja Hintonin ym. (2000) tutkimukset osoittavat selvää IDWA:n ja heikentyneen suorituskyvyn välistä yhteyttä.

DellaVallen ja Haasin (2011) tutkimuksen mukaan elimistön rautastatuksella nähdään olevan yhteys kestävyysuorituskykyyn. Suorituskykyä arvioitiin tutkimuksessa kahden kilometrin mittaisen soudun suoritusajan avulla 149 naiselta. Tutkimuksessa IDWA määritettiin, kun S-Ferrit oli alle 20 µg/l ja hemoglobiini oli yli 120 g/l. Naissoutajien, joilla oli IDWA, kahden kilometrin soutuajat olivat keskimäärin 21 sekuntia hitaampia kuin soutajien, joiden rautatilanne oli normaali. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin seerumin ferritiinin ja kahden kilometrin soutuajan välisen suhteen olevan vieläkin vahvempi niillä, joilla rautastatus oli alhaisempi (S-Ferrit <15 µg/l). Tämä suhde säilyi tilastollisesti merkitsevänä myös, kun ferritiinin raja-arvona käytettiin 25 µg/l, mutta ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä, kun raja-arvona käytettiin 30 µg/l. (DellaValle & Haas 2011)

DellaValle ja Haas toteuttivat samankaltaisen tutkimuksen vuonna 2012. Tutkimuksessa oli sama protokolla verrattuna vuoden 2011 tutkimukseen, paitsi suorituskykyä arvioitiin nyt neljän kilometrin soudun avulla 165 naiselta. Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että soutajat, joilla oli IDWA, suorittivat soututestin 30 sekuntia hitaammin verrattuna soutajiin, joilla oli normaali rautastatus. Kyseinen tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta antaa mahdollisesti viitettä siitä, että raudanpuutteella on yhteys heikompaan suorituskykyyn. Tuloksissa on kuitenkin huomioitava, että soutajat, joilla oli IDWA, harjoittelivat noin 11 minuuttia vähemmän kuin soutajat, joilla oli normaali rautastatus. DellaVallen ja Haasin (2012) mukaan soutajat, joilla oli IDWA:n eivät ole mahdollisesti pystyneet harjoittelemaan yhtä kovalla intensiteetillä verrattuna soutajiin, joilla oli normaali rautastatus. Tämä keskimääräisesti alhaisempi harjoittelukuormitus on voinut vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. (DellaValle & Haas 2012)

Hintonin ym. (2000) tutkimuksessa saatiin puolestaan selkeitä IDWA:n ja heikentyneen suorituskyvyn välistä yhteyttä vahvistavia tuloksia. Kyseisessä tutkimuksessa tutkittiin kuuden

viikon rautakuurin vaikutusta kestävyysuorituskykyyn naisilla, joilla oli raudanpuute ilman anemiaa. IDWA määritettiin tutkimuksessa, kun S-Ferrit oli alle 16 µg/l ja hemoglobiini oli yli 120 g/l. Tutkimukseen osallistuvat 41 koehenkilöä jaettiin satunnaisesti koe- ja kontrolliryhmään. Koeryhmä söi jakson ajan 50 mg rautatabletteja kahdesti päivässä ja kontrolliryhmä söi vastaavia placebo-tabletteja. Interventiojakson aikana tutkittavat toteuttivat neljän viikon mittaisen polkupyöräergometrillä suoritettavan harjoitteluohjelman. Ennen ja jälkeen rautakuurin koehenkilöitä mitattiin seerumin ferritiini, hemoglobiini ja hematokriitti sekä kestävyysuorituskykyä arvioitiin 15 kilometrin mittaisen polkupyöräergometrillä tehdyn testin avulla. Alkumittauksissa ryhmien välillä ei ollut eroa rautastatuksissa tai 15 kilometrin testiajoissa. Intervention aikana koeryhmän ferritiini nousi tilastollisesti merkitsevästi verrattuna alkumittauksiin. Lisäksi hemoglobiini nousi intervention aikana, mutta nousu ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kontrolliryhmässä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia rautaparametreissa. Intervention jälkeen sekä koe- että kontrolliryhmän 15 kilometrin testiaika laski tilastollisesti merkitsevästi. Kuitenkin koeryhmän testiaika parani kaksi kertaa enemmän verrattuna kontrolliryhmään. Koeryhmän testiajan suuremman parantumisen katsottiin johtuvan koehenkilöiden seerumin ferritiinin ja hemoglobiinin kasvamisesta. Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että IDWA on yhteydessä heikompiin suoritusaikoihin. Lisäksi havaittiin, että rautalisä lisää kestävyyskapasiteettia henkilöillä, joilla on raudanpuute ilman anemiaa. (Hinton ym. 2000)

Myös muissa tutkimuksissa on havaittu yhteys IDWA:n ja suoritusajan välillä. Friedmannin ym. (2001) tutkimuksessa havaittiin anaerobisen testin ajan kasvavan rautalisää saaneella koeryhmällä tilastollisesti merkitsevästi. Kyseisessä tutkimuksessa tulosta perusteltiin, sillä että hapenkulutuksen kasvu johtaa suorituskyvyn merkittävään paranemiseen eli suoritusajan kasvuun, kun anaerobinen kapasiteetti pysyy muuttumattomana (Friedmann ym. 2001). Lamancan ja Haymesin (1993) tutkimuksessa saatiin myös vastaavia tuloksia, mutta tulokset eivät olleet merkitseviä. Tutkimuksessa rautalisää saaneen koeryhmän aika uupumukseen suorassa hapenottokykytestissä kasvoi hieman alku- ja loppumittausten välillä. Lisäksi submaksimaalisen kestävyystestin aika uupumukseen kasvoi 38 % rautalisää saaneella ryhmällä testien välillä. Lamancan ja Haymesin (1993) mukaan submaksimaalisen kestävyuden lisääntyminen yhdistetään lihasten rautaa sisältävien oksidatiivisten entsyymien tehokkaampaan toimintaan. Nämä entsyymimuutokset korreloivat parantuneiden rautavarastojen kanssa. (Lamancan & Haymes 1993)

Yhteenvetona voidaan todeta, että heikentynyt rautastatus on todennäköisesti yhteydessä heikentyneeseen suorituskykyyn. IDWA:n ja heikentyneen suorituskyvyn välinen yhteys osoitettiin DellaVallen ja Haasin (2011), Hintonin (2000) ja Friedmannin (2011) tutkimuksissa, joissa suorituskykyä tarkasteltiin testin keston avulla. Myös DellaVallen ja Haasin (2012) ja Lamancan ja Haymesin (1993) tutkimuksissa havaittiin vastaava yhteys, vaikka tulokset eivät olleet merkitseviä. IDWA:n nähdään heikentävän suorituskykyä, sillä heikentyneen rautastatuksen seurauksena heikentynyt oksidatiivinen kapasiteetti vaikuttaa negatiivisesti kestävyysuoritukseen. Lisäksi heikentyneen rautastatuksen on osoitettu heikentävän hapenkuljetusta lihaksen sisällä sekä aiheuttavan lihasväsymystä. (McClung 2019) Koska raudanpuutteen ja testin keston avulla tarkastellun suorituskyvyn välillä nähdään olevan yhteys, voidaan olettaa, että IDWA heikentää myös teoreettista VO_2 maxia. IDWA:n ja heikentyneen suorituskyvyn välistä yhteyttä ei voida kuitenkaan sanoa täysin selväksi, sillä myös ristiriitaisia tutkimustuloksia on saatu. Näin ollen tarvitaan lisää tutkimusta aiheesta sekä etenkin eri rautastatusten ja teoreettisen VO_2 max:in välisestä yhteydestä.

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tämän kandidaatin tutkielman tarkoituksena on selvittää, miten rautastatus on yhteydessä maksimaaliseen hapenotto- ja suorituskäyttöön ja suorituskäyttöön naiskestävyysurheilijoilla. Suorituskäyttöä tarkastellaan tutkielmassa teoreettisen hapenkulutuksen avulla.

Tutkimuskysymys 1: Onko rautastatus yhteydessä maksimaaliseen hapenotto- ja suorituskäyttöön?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Heikentynyt rautastatus on yhteydessä alhaisempaan maksimaaliseen hapenotto- ja suorituskäyttöön (Brownlie ym. 2002; Friedmann ym. 2001; Lamanca & Haymes 1993). Ferritiiniarvon laskiessa alle viitearvon, rautaa sisältävien oksidatiivisten entsyymien sekä elektroninsiirtoketjussa toimivien proteiinien toiminta vähenee, mikä heikentää kudosten oksidatiivista kapasiteettia (Lamanca & Haymes 1993). Oksidatiivisen kapasiteetin laskun nähdään olevan yhteydessä heikentyneeseen $VO_2\text{max}$:iin (Bassett & Howley 2000). Lisäksi, kun hemoglobiiniarvo laskee alle viitearvon ($<117 \text{ g/l}$), veren hapenkuljetuskäyttö alenee, mikä puolestaan heikentää maksimaalista hapenotto- ja suorituskäyttöä (McClung 2019). Normaalin rautastatuksen sekä rautaparametriarvojen nousemisen nähdään puolestaan olevan yhteydessä korkeampaan $VO_2\text{max}$:iin (Friedmann 2011).

Tutkimuskysymys 2: Onko rautastatus yhteydessä kestävyys- ja suorituskäyttöön?

Hypoteesi ja perustelut: Kyllä. Heikentynyt rautastatus on yhteydessä alhaisempaan suorituskäyttöön. Tutkimuksissa, joissa suorituskäyttöä tarkasteltiin testin keston avulla, heikomman rautastatuksen omaavat suorittivat suorituskäytön huonommassa ajassa verrattuna tutkittaviin, joilla oli normaalin rautastatus. (DellaValle 2011; Friedmann 2011; Hinton 2000) Heikentyneen rautastatuksen nähdään laskevan suorituskäyttöä, sillä alentunut rautastatus heikentää rautaa sisältävien oksidatiivisten entsyymien sekä elektroninsiirtoketjussa toimivien proteiinien toimintaa, jolloin kudosten oksidatiivinen kapasiteetti laskee. Heikentyneen rautastatuksen on havaittu myös laskevan luurankolihasen myoglobiinipitoisuutta, joka vähentää hapenkuljetusta lihaksen sisällä. (Hinton ym. 2000; McClung 2019) Lisäksi raudanpuuteanemiaan johtaneen rautavarastojen ehtymisen nähdään heikentävän suorituskäyttöä, sillä alhainen alle viitearvojen oleva hemoglobiinitaso vähentää hapenkuljetusta perifeerisiin kudoksiin (Hinton ym. 2000).

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimusaineisto on kerätty Jyväskylän yliopiston NoREDS-tutkimuksesta. Kyseisen tutkimuksen tarkoitus on tutkia alhaisen energiansaataavuuden esiintyvyyttä ja ilmaantuvuutta sekä suhteellisen energiavajeen taustalla olevia riskitekijöitä ja oireita naisurheilijoilla ja saman ikäisillä verrokeilla. Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta on myöntänyt tutkimukselle myönteisen lausunnon.

5.1 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytointiin kansallisen tai kansainvälisen tason naisurheilijoita lajiliittojen kautta. Ennen tutkimuksen alkua tutkittavia informoitiin tutkimuksen tarkoituksesta sekä sen etenemisestä. Kaikki tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen ennen tutkimuksen alkamista, ja heille tehtiin selväksi mahdollisuus keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä tutkimuksen vaiheessa tahansa.

Tämän työn tutkimusjoukko koostui 62 perusterveestä 19–33-vuotiaasta naisurheilijasta. Tutkittavista 28 oli eri kestävyyslajien, kuten maastohiihdon, suunnistuksen, kilpakävelyn, triathlonin ja kestävyysjuoksun urheilijoita (koeryhmä). Loput 34 tutkittavaa olivat koeryhmää iällisesti vastaavia tavoitteellisesti urheilevia henkilöitä, joilla ei ollut kestävyysurheilutaustaa (kontrolliryhmä). Tutkittavien tiedot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Tutkittavien taustatiedot (keskiarvo \pm keskihajonta).

	Koeryhmä (n = 28)	Kontrolliryhmä (n = 34)	Kaikki (n = 62)
Ikä (vuotta)	25,5 \pm 4,2	27,5 \pm 3,8	26,6 \pm 4,1
Pituus (m)	1,7 \pm 0,1	1,6 \pm 0,0	1,7 \pm 0,1
Paino (kg)	60,9 \pm 4,9	66,0 \pm 8,2	63,7 \pm 7,8

5.2 Tutkimusasetelma ja aineiston keruu

Tutkimuksen aineisto kerättiin poikkileikkausasetelmana NoREDS-tutkimusprojektista vuosien 2021–2023 välillä. Kaikilta tutkittavilta otettiin aamulla perusverenkuva, joka sisälsi

hemoglobiinin ja hematokriitin määrittämiseksi. Lisäksi tutkittavilta mitattiin verestä seerumin ferritiinipitoisuus. Verinäytteiden jälkeen tutkittavat suorittivat suoran hapenottokäytön.

Verinäytteet. Tutkittavilta otettiin verinäytteet kyynärtaipan laskimosta aamulla paastotilassa klo: 7–9 välillä. Verinäytteet otti pääosin bioanalytiikko tai laboratoriohoitaja. Joitakin yksittäisiä näytteitä otti sairaanhoitaja. Hemoglobiini ja hematokriitti määritettiin kokoverenkuvasta. Verinäyte otettiin EDTA-nimiseen antikoagulanttia sisältävään putkeen ja putkea sekoitettiin huolellisesti näytteenoton jälkeen. Verenkuva mitattiin heti näytteenoton jälkeen Sysmex-analysaattorilla (XP-300 tai XQ-320). Analysaattori määrittänyt näytteestä hemoglobiinin ja laski hematokriitin. Ferritiini määritettiin puolestaan veriseerumista. Seeruminäytteet otettiin hyytymisaktivaattoria sisältäviin veriputkiin. Putkea sekoitettiin muutaman kerran ja annettiin seistä noin 15–30 minuuttia, kunnes veri oli hyytynyt. Tämän jälkeen putket sentrifugoitiin 3600 rpm (rounds per minute) 15 minuutin ajan ja erottunut seerumi pakastettiin -20 °C:seen odottamaan analysointia. Ferritiini analysoitiin Siemensin Immulite 2000 XPi immunokemian analysaattorilla, jonka menetelmät perustuvat elektrokemiluminesenssiin.

Suora hapenottokäyttötesti. Suorat hapenottokäyttötestit tehtiin Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriossa, KIHUlla (kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus) tai Jyväskylän yliopiston Vuokatin liikuntateknologian toimipisteellä. Testi suoritettiin normaalissa ravitsemustilassa. Testissä käytettiin nopeusmallia, jossa tutkittava käveli tai juoksi juoksumatolla kolmen minuutin kuormia yhden asteen kulmalla. Aloitusnopeus määritettiin jokaiselle tutkittavalle henkilökohtaisesti, ja nopeus kasvoi joka kuormalla 1 km/h. Testiä jatkettiin uupumukseen tai siihen asti, kun tutkittava halusi lopettaa sen. Testin aikana mitattiin eri hengityskaasumuuttujia kuten hapenkulutusta, hiilidioksidin tuottoa ja hengitysosamäärää hengityskaasuanalysointilaitteen (Vyntus CPX, Vyaire Medical GmbH, Hoechst, Saksa) Sentry Suite -ohjelman avulla. Testin aikana mitattiin ja analysoitiin jokaista hengityssykliä breath-by-breath toiminnolla. Testin lopuksi VO_2max määritettiin testin korkeimman hapenkulutuksen minuutin keskiarvona (ml/kg/min). Testin aikana mitattiin myös sykettä sekä määritettiin laktaatti jokaisen kuorman lopussa. Laktaatinäytteet otettiin kapillaariin sormenpääverinäytteestä ennen VO_2max -testiä sekä jokaisen kuorman jälkeen ja testin jälkeen. Näytteet analysoitiin testin jälkeen laktaattianalysaattorilla (Biosen S-Line Lab+, EKF Diagnostics, Saksa).

Koska tutkittavat eivät aloittaneet suoraa hapenottookykytestiä samasta nopeudesta, suorituskykyä ei voida tarkastella testin keston avulla. Näin ollen, suorituskykyä tarkastellaan teoreettisen hapenkulutuksen avulla. Testistä määritettiin teoreettinen hapenkulutus Londereen (1986) kaavalla (1) käyttäen kaikille testattaville pienintä vakiota ($E = -2$).

$$VO_2 \max(ml/kg/min) = 0,205 \times v + 0,109 \times \left(\frac{v}{60}\right)^2 + E - 0,61 \quad (1)$$

Missä v , nopeus (m/min) ja E :n arvot: 6, kuntoilija; 4, kansallisen tason juoksija; 2, hyvä keskimatkojen juoksija; 0, hyvä maratoonari; -2, kansainvälisen tason maratoonari. (Londeree 1986)

5.3 Tilastolliset analyysimenetelmät

Aineisto taulukoitiin ja keskiarvot sekä keskihajonnat (SD) laskettiin Microsoft Excel -ohjelmalla. Tutkimusaineiston analyysit tehtiin IBM SPSS Statistics Version 28.0.1.1 (15) -ohjelmalla. Tutkimustuloksia käsiteltiin ja analysoitiin anonymisti. Koko aineiston normaalijakautuneisuutta tarkistettiin Kolmogorovin-Smirnovin testillä ja aineiston sisäisten ryhmien normalisuutta tarkastettiin Shapiro-Wilkin testillä. Lisäksi jakauman normalisuutta tarkasteltiin analysoimalla muuttujien vinoutta ja huipukkuutta. Osa muuttujista oli normaalijakautuneita ja osa ei. Normaalijakautuneille muuttujille käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa ja ei-normaalijakautuneille Spearmanin korrelaatiokerrointa. Lisäksi aineiston eri ryhmien välisiä eroja ja niiden merkitsevyyttä analysoitiin Mann-Whitney U-testillä. Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p < 0,05$.

6 TULOKSET

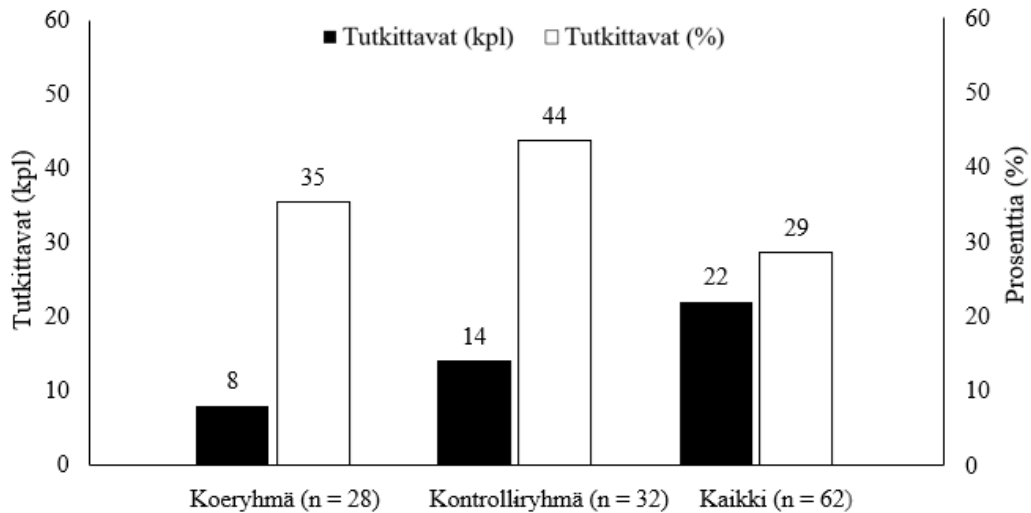
Taulukossa 3 on esitetty aineiston kaikkien tarkasteltavien muuttujien keskiarvot sekä keskihajonnat koe- ja kontrolliryhmittäin. Koeryhmän kaikki rautaparametrit (S-Ferrit, Hb ja Hkr) olivat korkeammat verrattuna kontrolliryhmään. Kuitenkaan erot ryhmien välillä eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Koeryhmän VO₂max ja TeorVO₂max olivat tilastollisesti merkitsevästi korkeammat verrattuna kontrolliryhmän arvoihin ($p < 0,001$).

TAULUKKO 3. Tutkittavien rautaparametrit ja suorituskyky muuttujat koe- ja kontrolliryhmittäin (keskiarvo \pm keskihajonta).

	Koeryhmä (n = 28)	Kontrolliryhmä (n = 34)	Kaikki (n = 62)
S-Ferrit ($\mu\text{g/l}$)	54,8 \pm 38,4	35,3 \pm 15,5	44,5 \pm 30,0
Hb (g/l)	135,9 \pm 8,8	133,3 \pm 6,8	134,5 \pm 7,8
Hkr (%)	41,2 \pm 2,5	40,2 \pm 2,2	40,7 \pm 2,4
VO ₂ max (ml/kg/min)	59,5 \pm 6,0 ***	42,7 \pm 3,8	50,3 \pm 9,8
TeorVO ₂ max (ml/kg/min)	57,3 \pm 7,9 ***	40,0 \pm 4,3	47,8 \pm 10,6

S-Ferrit, seerumin ferritiini; Hb, hematokriitti; Hkr, hematokriitti; VO₂max, maksimaalinen hapenotto-kyky; TeorVO₂max, teoreettinen hapenkulutus. *** $p < 0,001$ tilastollisesti merkitsevä ero VO₂max:issa sekä TeorVO₂max:issa koe- ja kontrolliryhmän välillä.

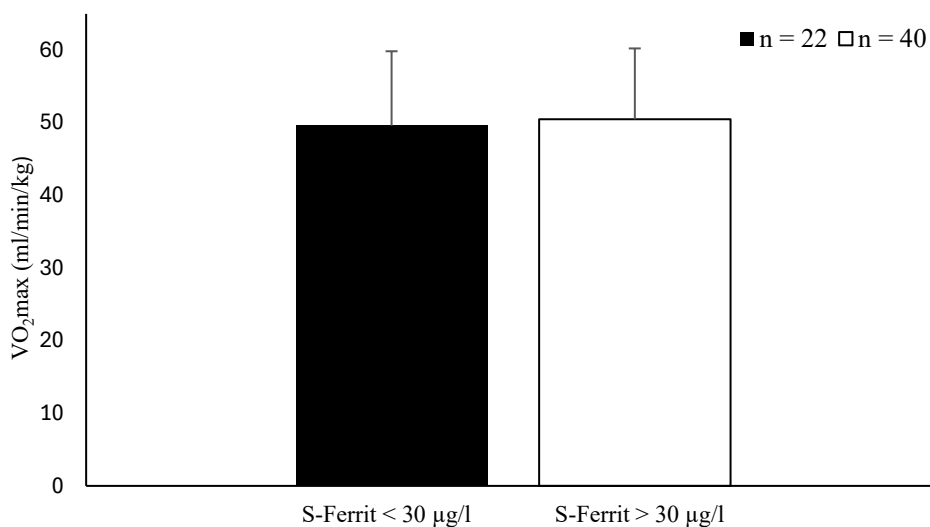
Tutkittavat jaettiin seerumin ferritiinin perusteella rautastatusryhmiin: heikentynyt rautastatus (S-Ferrit $< 30 \mu\text{g/l}$) ja normaali rautastatus (S-Ferrit $> 30 \mu\text{g/l}$). Kuvassa 1 on havainnollistettu heikentyneen rautastatuksen esiintyvyys koe- ja kontrolliryhmittäin. Aineistosta 22:lla seerumin ferritiini oli määritetyn raja-arvon alapuolella ($< 30 \mu\text{g/l}$). Heistä 19:llä oli heikentyneet ferritiiniarvot (15–30 $\mu\text{g/l}$) ja kolmella ferritiinivarastot olivat tyhjentyneet ($< 15 \mu\text{g/l}$). Koeryhmässä heikentyneen rautastatuksen omaavia tutkittavia oli 8 ja kontrolliryhmässä 14. Lopuilla tutkittavista (n = 40) oli normaalit rautavarastot (S-Ferrit $> 30 \mu\text{g/l}$). Aineistosta kahdella tutkittavalla oli hemoglobiini sekä hematokriitti alle viitearvojen (Hb $< 117 \text{ g/l}$, Hkr $< 35 \%$). Toinen heistä kuului koeryhmään ja toinen kontrolliryhmään. Kuitenkaan kyseisten tutkittavien ferritiiniarvot eivät olleet alle viitearvojen, joten raudanpuuteanemiaa ei havaittu kenelläkään tutkittavista.



KUVA 1. Heikentyneen rautastatuksen (S-Ferrit < 30 µg/l) esiintyvyys koko aineistossa sekä koe- ja kontrolliryhmittäin absoluuttisesti (kpl) sekä suhteellisenä osuutena (%) ilmaistuna.

6.1 Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottookykyyn

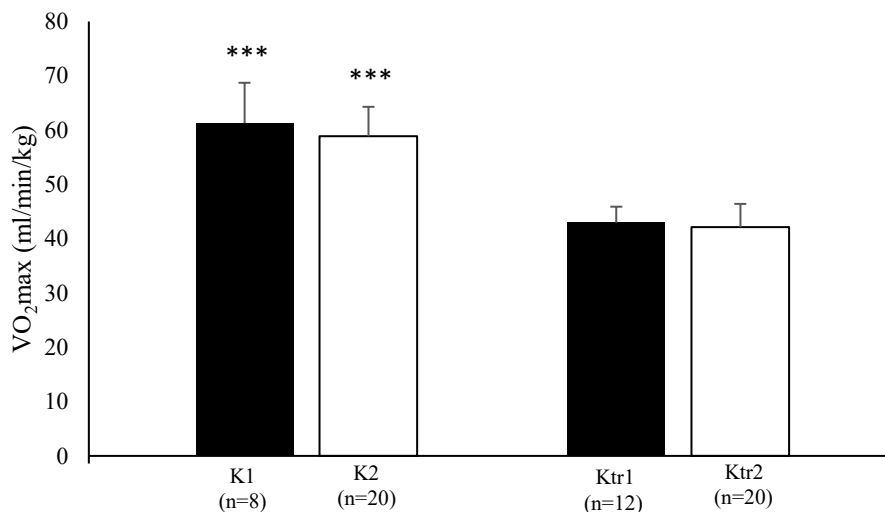
Kuvassa 2 on esitetty heikentyneen ja normaalin rautastatuksen omaavien tutkittavien keskimääräiset VO₂max-arvot (n = 62). Tutkittavien, joilla oli normaali rautastatus, VO₂max oli hieman korkeampi verrattuna tutkittaviin, joilla oli heikentynyt rautastatus (50,5 ± 9,8 vs. 49,6 ± 10,3) (kuva 2). Arvojen välinen ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä (p = 0,06).



KUVA 2. VO₂max heikentyneen ja normaalin rautastatuksen omaavilla.

Seuraavaksi tarkastellaan maksimaalista hapenottokykyä koe- ja kontrolliryhmittäin. Koe- ja kontrolliryhmät jaettiin tarkastelemisen helpottamiseksi heikentyneen ja normaalin rautastatuksen ryhmiin: koeryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l), koeryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l), kontrolliryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l) ja kontrolliryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l).

Kuvasta 3 voidaan havaita, että koeryhmän 1 VO₂max oli korkeampi verrattuna koeryhmään 2 (61,2 ± 7,5 vs. 58,9 ± 5,4). Myös kontrolliryhmän 1 VO₂max oli hieman korkeampi verrattuna kontrolliryhmään 2 (43,0 ± 2,9 vs. 42,1 ± 4,3). Arvot eivät kuitenkaan eronneet tilastollisesti merkitsevästi kummankaan ryhmän välillä. Molempien koeryhmien VO₂max oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna vastaaviin kontrolliryhmiin (p < 0,001) (kuva 3).



KUVA 3. Maksimaalinen hapenottokyky heikentyneen ja normaalin rautastatuksen omaavilla koe- ja kontrolliryhmittäin. K1, koeryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); K2, koeryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l); Ktr1, kontrolliryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); Ktr2, kontrolliryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l). Sulkeissa ryhmien koot. *** p < 0.001 tilastollisesti merkitsevä ero K1 ja Ktr1 välillä sekä K2 ja Ktr2 välillä.

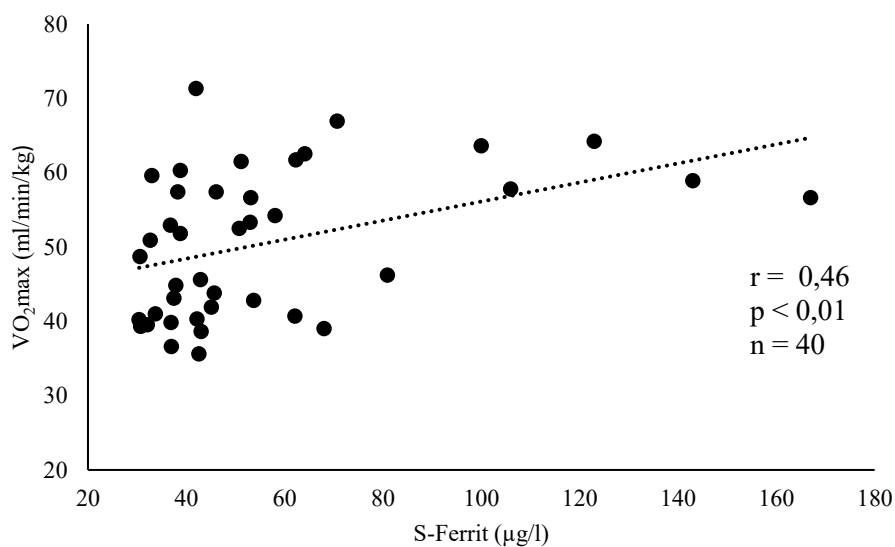
Taulukossa 4 on esitetty seerumin ferritiinin ja maksimaalisen hapenottokyvyn väliset korrelaatiot koko aineistossa, eri rautastatusryhmissä, koe- ja kontrolliryhmittäin sekä kyseiset ryhmät jaettuna rautastatuksen mukaan. Seerumin ferritiinin ja VO₂max:in välillä ei havaittu korrelaatiota, kun tarkasteltiin koko aineistoa. Korrelaatiota ferritiinin ja VO₂max:in välillä ei

myöskään ilmennyt, kun muuttujien välistä yhteyttä tarkasteltiin koe- ja kontrolliryhmittäin sekä jaettuna ryhmät heikentyneen ja normaalin rautastatuksen ryhmiin. Kuitenkin kohtalainen positiivinen korrelaatio ilmeni, kun tarkasteltiin kaikkia tutkittavia, joiden rautastatus oli normaali ($r = 0,46$, $p < 0,01$) (kuva 4).

TAULUKKO 4. Seerumin ferritiinin ja $VO_2\text{max}$:in välinen korrelaatio koko aineistossa sekä eri ryhmissä.

	Ryhmät	$VO_2\text{max}$
	Kaikki (n = 62)	0,16
	Heikentynyt rautastatus (n = 22)	-0,17
	Normaali rautastatus (n = 40)	0,46 **
	Koeryhmä (n = 28)	0,04
S-Ferrit	Kontrolliryhmä (n = 34)	-0,07
	K1 (n = 8)	-0,41
	K2 (n = 20)	0,39
	Ktr1 (n = 12)	0,24
	Ktr2 (n = 20)	0,10

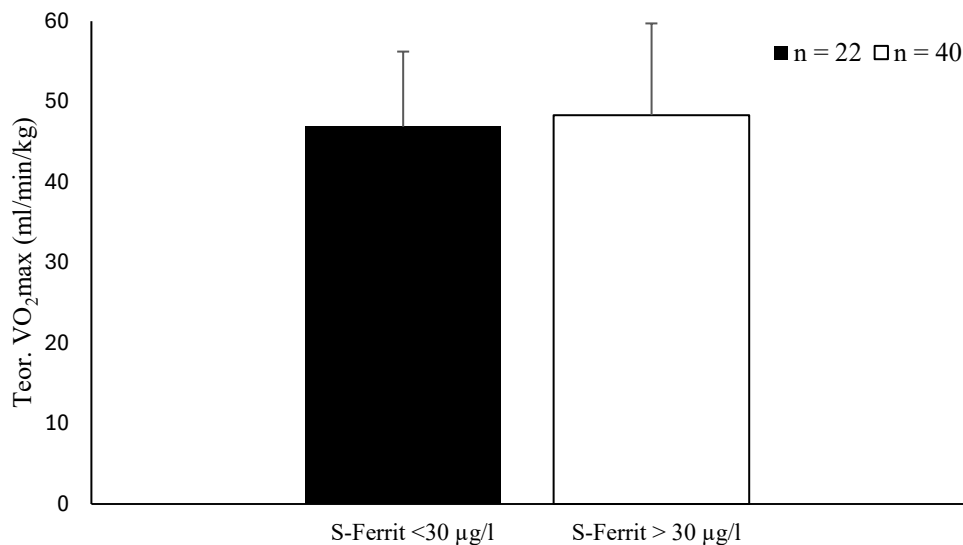
K1, koeryhmä 1 (S-Ferrit < 30 $\mu\text{g/l}$); K2, koeryhmä 2 (S-Ferrit > 30 $\mu\text{g/l}$); Ktr1, kontrolliryhmä 1 (S-Ferrit < 30 $\mu\text{g/l}$); Ktr2, kontrolliryhmä 2 (S-Ferrit > 30 $\mu\text{g/l}$). ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.



KUVA 4. Seerumin ferritiinin ja $VO_2\text{max}$:in välinen yhteys tutkittavilla, joiden S-Ferrit on yli 30 $\mu\text{g/l}$ (n = 40).

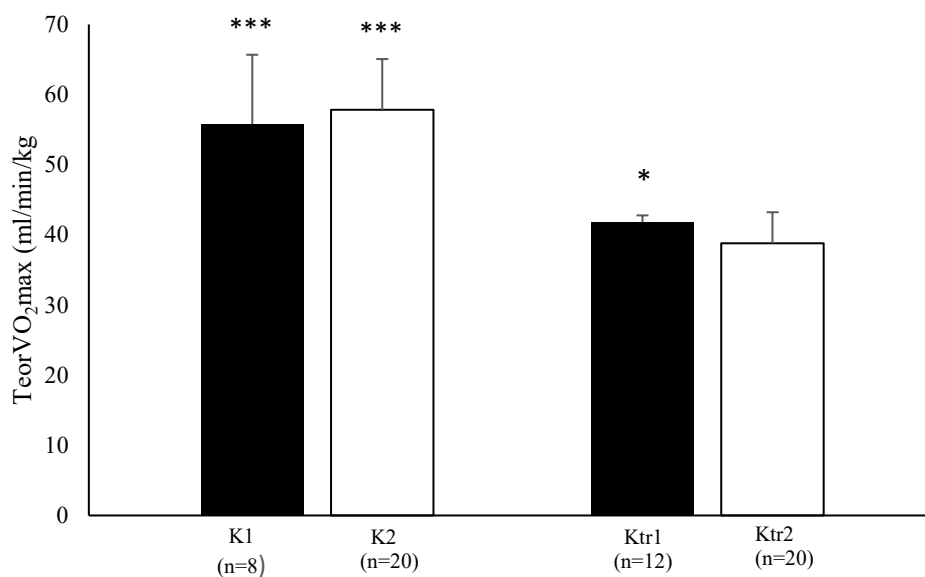
6.2 Rautastatuksen yhteys kestävyysuorituskykyyn

Suorituskykyä tarkastellaan tutkielmassa teoreettisen hapenkulutuksen avulla. Teoreettinen $VO_2\text{max}$ oli korkeampi tutkittavilla, joilla oli normaali rautastatus verrattuna tutkittaviin, joilla oli heikentynyt rautastatus ($48,3 \pm 11,4$ vs. $46,9 \pm 9,3$) (kuva 5). Kuitenkaan ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,3$).



KUVA 5. Teoreettinen $VO_2\text{max}$ heikentyneen ja normaalin rautastatuksen omaavilla.

Kuvassa 6 on esitetty teoreettinen hapenkulutus koe- ja kontrolliryhmittäin sekä ryhmät jaettuna heikentyneen ja normaalin rautastatuksen ryhmiin. Koeryhmän 2 teoreettinen $VO_2\text{max}$ oli korkeampi verrattuna koeryhmään 1 ($55,8 \pm 9,9$ vs. $57,8 \pm 7,3$). Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Puolestaan kontrolliryhmällä 1 oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi teoreettinen $VO_2\text{max}$ verrattuna kontrolliryhmään 2 ($41,8 \pm 3,4$ vs. $38,8 \pm 4,4$, $p < 0,05$). Lisäksi molempien koeryhmien teoreettinen $VO_2\text{max}$ oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna vastaaviin kontrolliryhmiin ($p < 0,001$).



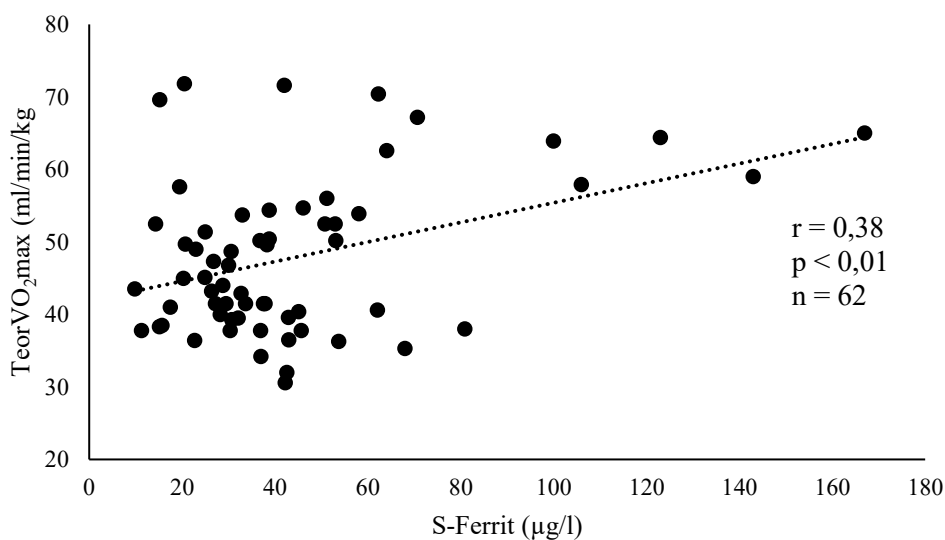
KUVA 6. Teoreettinen hapenkulutus heikentyneen ja normaalin rautastatuksen omaavilla koe- ja kontrolliryhmittäin. K1, koeryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); K2, koeryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l); Ktr1, kontrolliryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); Ktr2, kontrolliryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l). Sulkeissa ryhmien koot. *** p < 0,05 tilastollisesti merkitsevät ero K1 ja Ktr1 välillä sekä K2 ja Ktr2 välillä. * p < 0,001 tilastollisesti merkitsevä ero Ktr1 ja Ktr2 välillä.

Taulukossa 5 on esitetty seerumin ferritiinin ja teoreettisen hapenkulutuksen väliset korrelaatiot koko aineistossa, eri rautastatusryhmissä, koe- ja kontrolliryhmittäin sekä kyseiset ryhmät jaettuna rautastatuksen mukaan. Seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välillä havaittiin kohtalainen positiivinen korrelaatio, kun tarkastellaan koko aineistoa (kuva 7). Korrelaatio ilmeni myös seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂maxin välillä, kun tarkasteltiin kaikkia (A) normaalin rautastatuksen omaavia ja (B) koko koeryhmää (kuva 8). Lisäksi korrelaatio havaittiin (C) koeryhmässä 2 sekä (D) kontrolliryhmässä 1 (kuva 9). Muissa ryhmissä ei havaittu korrelaatiota muuttujien välillä.

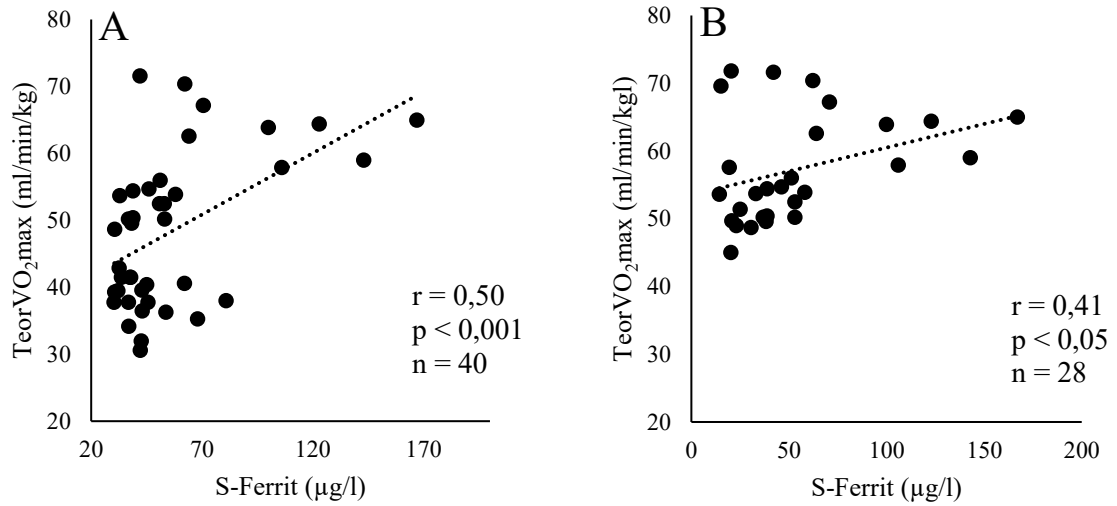
TAULUKKO 5. Seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välinen korrelaatio koko aineistossa sekä eri ryhmissä.

	Ryhmät	TeorVO ₂ max
	Kaikki (n = 62)	0,38 **
	Heikentynyt rautastatus (n = 22)	0,01
	Normaali rautastatus (n = 29)	0,50 ***
	Koeryhmä (n = 28)	0,41 *
S-Ferrit	Kontrolliryhmä (n = 34)	-0,31
	K1 (n = 8)	-0,36
	K2 (n = 20)	0,68 ***
	Ktr1 (n = 12)	0,49 *
	Ktr2 (n = 20)	-0,13

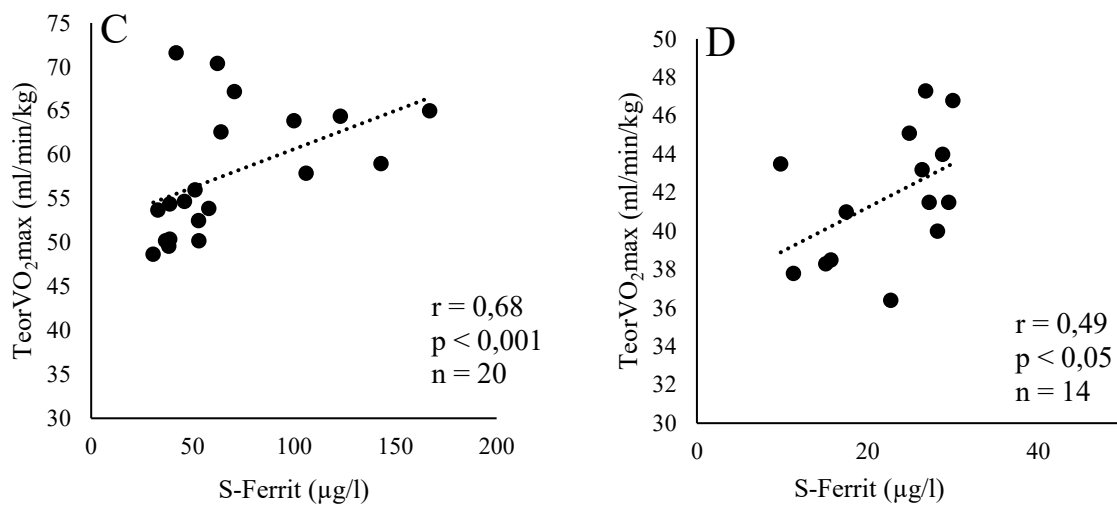
K1, koeryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); K2, koeryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l); Ktr1, kontrolliryhmä 1 (S-Ferrit < 30 µg/l); Ktr2, kontrolliryhmä 2 (S-Ferrit > 30 µg/l). * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.



KUVA 7. Seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välinen yhteys (n = 62).



KUVA 8. Seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välinen yhteys (A) normaalin rautastatuksen omaavilla tutkittavilla (n = 40) ja (B) koeryhmässä (n = 28).



KUVA 9. Seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välinen yhteys (C) koeryhmässä 2 (n = 20) ja (D) kontrolliryhmässä 1 (n = 14).

7 POHDINTA

Tutkielman tarkoituksena oli tarkastella rautastatuksen yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn ja suorituskyykyyn naiskestävyysurheilijoilla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, laskeeko heikentynyt rautastatus maksimaalista hapenottokykyä ja suorituskyykyä. Rautastatusta tarkasteltiin tutkielmassa seerumin ferritiinin, hemoglobiinin ja hematokriitin avulla, ja tutkittavat jaettiin rautastatusryhmiin seerumin ferritiinin mukaan. Maksimaalista hapenottokykyä arvioitiin suoran hapenottokyykytestin avulla ja suorituskyykyä arvioitiin samasta testistä saadun teoreettisen hapenkulutuksen avulla.

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan tuloksia sekä pohditaan tekijöitä, jotka ovat mahdollisesti vaikuttaneet tuloksiin. Lisäksi pohditaan tutkimuksen heikkouksia ja vahvuuksia sekä vedetään tutkimuksen johtopäätökset yhteen.

7.1 Tulosten tarkastelu

Tutkittavista 22:lla oli heikentynyt rautastatus (S-Ferrit < 30 µg/l). Heistä kahdeksan kuului koeryhmään ja 14 kontrolliryhmään. Lopuilla tutkittavista (n = 40) oli normaalit rautavarastot (S-Ferrit > 30 µg/l). Kenelläkään tutkittavista ei havaittu raudanpuuteanemiaa.

Aikaisempien tutkimusten mukaan heikentynyttä rautastatusta esiintyy noin 27–50 prosentilla naiskestävyysurheilijoista (Alaunyte ym. 2014; Auersperger ym. 2013; DellaValle & Haas 2011; DellaValle & Haas 2012; Pate ym. 1993). Tässä tutkimuksessa heikentynyttä rautastatusta esiintyi 29 prosentilla tutkittavista. Näin ollen tämän tutkimuksen heikentyneen rautastatuksen esiintyvyys vastasi aikaisemmin tehtyjen tutkimusten esiintyvyyttä.

7.1.1 Rautastatuksen yhteys maksimaaliseen hapenottokyykyyn

Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että koeryhmän VO₂max oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna kontrolliryhmään (p < 0,001). Myös koeryhmän 1 (S-Ferrit < 30 µg/l) VO₂max oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna kontrolliryhmään 1 (S-Ferrit < 30 µg/l). Samoin tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin koeryhmän 2 (S-Ferrit < 30 µg/l) ja

kontrolliryhmän 2 (S-Ferrit < 30 µg/l) välillä. Lisäksi tutkimuksessa havaittiin positiivinen kohtalainen korrelaatio seerumin ferritiinin ja VO₂maxin välillä, kun tarkasteltiin kaikkia tutkittavia, joilla oli normaalin rautastatus (p < 0,01).

Koeryhmän korkeammat ferritiiniarvot ja tilastollisesti merkitsevästi korkeammat VO₂max-arvot, verrattuna kontrolliryhmään, viittaavat siihen, että paremman rautastatuksen omaavilla olisi myös korkeammat VO₂max-arvot. Kuitenkin on huomioitava, että koeryhmä koostui kestävyysurheilijoista, joten oletettavasti heidän VO₂max on korkeampi verrattuna kontrolliryhmän tutkittaviin, joilla ei ollut kestävyysurheilutaustaa. Koeryhmän parempaa VO₂max:ia voidaan selittää sillä, että etenkin kestävyysurheilun on havaittu kasvattavan maksimaalista hapenottoa johtuen muun muassa sydämen minuuttitilavuuden, oksidatiivisen kapasiteetin ja hapenkuljetuksen kasvusta (Bassett & Howley 2000; Hausswirth & Le Meur 2012, 5–6). Näin ollen pelkästään tämän perusteella ei voida sanoa rautastatuksen ja VO₂max:in välillä olevan yhteyttä, sillä tutkittavien harjoittelulla on ollut mahdollisesti vaikutusta tuloksiin.

Kuitenkin seerumin ferritiinin ja VO₂max:in väliltä löydettiin positiivinen korrelaatio (p < 0,01), kun tarkasteltiin tutkittavia, joilla oli normaali rautastatus. Tuloksen perusteella, kun rautastatus on normaali, ovat korkeammat rauta-arvot yhteydessä korkeampiin VO₂max-arvoihin. Yhteys selittyy mahdollisesti, sillä että ferritiiniarvojen nousun on osoitettu kasvattavan kudosten oksidatiivista kapasiteettia, joka puolestaan kasvattaa VO₂max:ia (Friedmannin ym. 2001). Lisäksi koska kaikilla normaalien rautastatuksen tutkittavilla, lukuun ottamatta yhtä, oli hemoglobiini viitearvoissa, selittää raudan osallistuminen hapenkuljetukseen myös normaalin rautastatuksen ja maksimaalisen hapenottoa välistä yhteyttä. Tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkasteltu hemoglobiinin ja VO₂max:in välistä yhteyttä, joten ei voida sanoa, onko maksimaalista hapenottoa määrittävänä tekijänä tutkimuksessa ollut hapenkuljetus vai oksidatiivisen kapasiteetin rooli. Lisäksi on huomioitava, että seerumin ferritiinin ja VO₂max:in välinen yhteys ilmeni vain yhdessä ryhmässä, joten yhteyttä voidaan pitää vain mahdollisena.

Tutkimuksen perusteella heikentynyt rautastatus ei ole yhteydessä VO₂max-arvoihin, sillä korrelaatio oli heikko tai negatiivinen kaikissa ryhmässä, joissa tarkasteltiin heikentyneen rautastatuksen ja VO₂max:in välistä yhteyttä. Tämä voi mahdollisesti johtua siitä, että lähes kaikkien tutkittavien hemoglobiiniarvot olivat viitearvoissa. Se, ettei korrelaatiota ilmennyt ja

tutkittavien hemoglobiiniarvot olivat viitearvoissa, voi viitata siihen, ettei pelkillä heikentyneillä ferritiiniarvoilla olisi vaikutusta VO_2 max:iin sitä laskevasti, toisin kun Friedmannin ym. (2001) tutkimuksessa osoitettiin. Tämä päätelmä tukee sitä, että hemoglobiiniarvoilla on todennäköisesti selkeämpi yhteys VO_2 max:iin kuin pelkällä ferritiinillä, niin kuin Lamanca ja Haymes (1993) totesivat tutkimuksessaan.

Tutkimuksessa mitattuja VO_2 max-arvoja on kuitenkin voinut selittää myös muut, rautastatuksesta riippumattomat tai siitä välillisesti johtuvat tekijät. Esimerkiksi perinnöllisten tekijöiden on arvioitu vaikuttavan maksimaalisen hapenottookykyyn jopa 72 prosenttia (Schutte ym. 2016). Lisäksi tutkittavien harjoittelua voidaan pitää yhteydessä maksimaalisen hapenottokyvyn kehittymiseen (Montero & Díaz-Cañestro 2016). Kuitenkin DellaVallen ja Haasin (2012) tutkimuksen mukaan rautastatus voi olla yhteydessä myös harjoittelun määrään. Kyseisessä tutkimuksessa tutkittavat, joilla oli raudanpuute, harjoittelivat keskimäärin vähemmän verrattuna tutkittaviin, joilla oli normaali rautastatus. Tutkimuksessa alhaisen rautastatuksen omaavien heikompia testituloksia perusteltiin osaksi sillä, että he olivat harjoitelleet vähemmän verrattuna normaalin rautastatuksen tutkittaviin. (DellaValle & Haas 2012) Onkin mahdollista, että tässäkin tutkimuksessa rautastatus on vaikuttanut harjoittelun määrään ja näin myös VO_2 max-tulokseen. Tätä voidaan pitää kuitenkin vain mahdollisena, sillä tutkittavien harjoitusmäärää ei huomioitu tutkimuksessa. Tutkittavien harjoittelumäärään ja VO_2 max:iin on voinut lisäksi vaikuttaa se, että heikentyneen rautastatuksen on havaittu aiheuttavan väsymystä fyysisen suorituksen aikana (McClung 2019). Lihasväsymys suorituksen aikana on voinut vaikuttaa testin suorittamiseen ja lopulliseen VO_2 max-arvioon.

Yhteenvetona ei voida siis yleisesti sanoa, että rautastatuksella olisi yhteys VO_2 max:iin. Tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että normaalilla rautastatuksella on mahdollisesti yhteys VO_2 max-tuloksiin, mutta heikentyneellä rautastatuksella ei nähdä olevan yhteyttä VO_2 max:iin.

7.1.2 Rautastatuksen yhteys kestävyysuorituskykyyn

Tutkimuksessa havaittiin, että koeryhmän teoreettinen VO_2 max oli tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna kontrolliryhmään ($p < 0,001$). Tilastollisesti merkitsevästi korkeampi teoreettinen VO_2 max havaittiin myös kontrolliryhmällä 1 verrattuna kontrolliryhmään 2.

Lisäksi molempien rautastatuksen koeryhmien TeorVO₂max:in havaittiin olevan tilastollisesti merkitsevästi korkeampi verrattuna vastaaviin kontrolliryhmiin ($p < 0,001$). Korrelaatio seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välillä havaittiin useassa eri ryhmässä. Positiivinen, kohtalainen ja tilastollisesti merkitsevä korrelaatio havaittiin koko aineistossa, normaalin rautastatuksen omaavilla tutkittavilla, koko koeryhmällä, koeryhmällä 2 sekä kontrolliryhmällä 1.

Koeryhmän tilastollisesti merkitsevästi korkeampi teoreettinen VO₂max sekä selvästi korkeampi seerumin ferritiini verrattuna kontrolliryhmän vastaaviin arvoihin, voi viitata siihen, että korkeampi ferritiini olisi yhteydessä myös korkeampaan teoreettiseen VO₂maxiin. Kuitenkin niin kuin aiemmin mainittiin, ei yhteyttä voida pitää vielä selkeänä, sillä koeryhmän korkeampi hapenkulutus selittyy todennäköisesti kestävyysharjoittelun tuomilla muutoksilla (Montero & Díaz-Cañestro 2016). Kuitenkin seerumin ferritiinin ja teoreettisen VO₂max:in välillä havaittiin tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio viidessä eri tarkastellussa ryhmässä. Koska korrelaatio havaittiin koko aineistossa sekä useissa heikentyneen ja normaalin rautastatuksen ryhmissä, viittaavat tulokset siihen, että muuttujien välillä on mahdollisesti yhteys sekä yleisesti että eri rautastatuksilla.

Normaalin rautastatuksen ja teoreettisen VO₂max:in välistä yhteyttä kuvaa se, että korrelaatio havaittiin muuttujien välillä normaalin rautastatuksen ryhmässä sekä koeryhmässä 2. Tuloksen mukaan rautastatuksen noustessa myös teoreettinen VO₂max nousee. Tämä selittyy sillä, että korkeammat rautatasot ovat yhteydessä normaaliin oksidatiivisten entsyymien ja proteiinien toimintaan, joka mahdollistaa lihasten normaalin hapenoton, jolloin myös hapenotto- ja suorituskyky ovat parempia (McClung 2019). Toisaalta, koska lähes kaikkien tutkittavien hemoglobiini oli viitearvoissa, on myös hemoglobiinilla seerumin ferritiinin lisäksi mahdollisesti yhteys korkeampaan hapenkulutukseen ja näin myös suorituskykyyn. Kuitenkaan koska hemoglobiinin ja TeorVO₂max:in välistä yhteyttä ei tässä tutkimuksessa testattu, ei voida sanoa miten suuri hemoglobiinin vaikuttava rooli suorituskykyyn on.

Heikentyneen rautastatuksen yhteyttä suorituskykyyn selittää seerumin ferritiinin ja TeorVO₂max:in välillä havaittu korrelaatio kontrolliryhmässä 1. Kuitenkin myös se, että korrelaatio havaittiin koko aineistossa sekä koeryhmässä viittaa siihen, että heikentyneellä rautastatuksella on yhteys heikentyneeseen suorituskykyyn, sillä muuttujien välillä havaittiin yhteys yleisesti. Heikentyntä suorituskykyä selittää se, että laskeneet rauta-arvot heikentävät

rauta sisältävien oksidatiivisten entsyymien ja elektroninsiirtoketjussa toimivien proteiinien toimintaa, jolloin kudosten oksidatiivinen kapasiteetti laskee. Suorituskyvyn heikkeneminen voi johtua myös heikentyneiden rauta-arvojen aiheuttamasta fyysisen suorituksen aikaisesta lihasväsymyksestä tai alentuneesta luurankolihasien myoglobiinipitoisuudesta, joka vähentää hapenkuljetusta lihaksen sisällä. (McClung 2019) Koska tutkimuksessa havaittiin yhteys heikentyneiden ferritiiniarvojen ja heikentyneen suorituskyvyn välillä, kertoo se siitä, että myös ferritiini itsessään ilman hemoglobiinin laskua heikentää suorituskykyä. Tämä puolestaan tukee Friedmannin ym. (2001) tutkimustuloksia.

Maksimaalisen hapenotto- ja suorituskyvyn tavoin tutkittavien mitattuun suorituskykyyn on voinut vaikuttaa myös muut tekijät kuin rautastatus. Koska $VO_2\text{max}$:iin ja Teor $VO_2\text{max}$:iin vaikuttavat useat samat fysiologiset tekijät, on teoreettisen hapenkulutuksen taustalla voinut olla myös osaltaan edellisessä luvussa mainitut perinnölliset tekijät sekä harjoittelun määrä (Montero & Díaz-Cañestro 2016; Schutte ym. 2016). Kyseiset tekijät ovat mahdollisesti voineet vaikuttaa tutkimuksessa saatuihin Teor $VO_2\text{max}$ -arvoihin sekä selittää havaittua muuttujien välistä yhteyttä.

Yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, että rautastatus on mahdollisesti yhteydessä suorituskykyyn, ainakin teoreettisen $VO_2\text{max}$:in avulla tarkasteltuna. Tulosten perusteella nähdään, että normaali rautastatus on mahdollisesti yhteydessä korkeampaan teoreettiseen $VO_2\text{max}$:iin ja heikentynyt rautastatus on mahdollisesti yhteydessä heikompaan teoreettiseen $VO_2\text{max}$:iin. Koska suorituskykyä arvioitiin nyt vain teoreettisen $VO_2\text{max}$:in avulla, ei rautastatuksen ja pelkän yhden muuttujan havaittua yhteyttä voida yleistää koko kestävyys- ja suorituskykyyn. Lisäksi on huomioitava, että teoreettinen $VO_2\text{max}$ on vaan arvio. Jos tutkimuksessa olisi voitu tarkastella suorituskykyä myös esimerkiksi testin keston avulla, voitaisiin tehdä parempia oletuksia rautastatuksen ja suorituskyvyn väliltä.

7.2 Tutkimuksen heikkoudet ja vahvuudet

Tutkimuksen heikkoutena voidaan pitää aineiston kokoa. Kun aineiston tutkittavat jaettiin koe- ja kontrolliryhmiin sekä vielä rautastatuksen mukaan, olivat tarkasteltavat ryhmät melko pieniä. Sen lisäksi että ryhmät olivat pieniä, olivat ne myös epätasaisen kokoisia. Tämän vuoksi tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koko väestöön. Kuitenkin ryhmien taustatiedot vastasivat

hyvin toisiaan sekä koe- ja kontrolliryhmä olivat lähes samankokoisia. Näin ollen heidän tuloksiaan voidaan vertailla hyvin keskenään.

Alun perin tutkimuksessa oli tarkoitus tarkastella raudanpuutteen yhteyttä maksimaaliseen hapenottokykyyn ja suorituskyykyyn. Kuitenkin vain kahdella aineistosta ilmeni selvä raudanpuute (S-Ferrit < 15 µg/l). Näin ollen tarkastelu muuttui Clénin ym. (2015) mukaan jaotellun heikentyneen ja normaalin rautastatuksen arviointiin. Onkin syytä pohtia, vaikuttiko ferritiiniarvo (30 µg/l), jolla ryhmät jaettiin heikentyneen ja normaalin rautastatuksen ryhmiin tutkimuksen tuloksiin. Aiempien tutkimusten mukaan heikentyneen rautastatuksen on havaittu heikentävän maksimaalista hapenottokykyä ja suorituskyykyä vasta johtaessaan raudanpuutteeseen tai raudanpuuteanemiaan (Celsing ym. 1986, Lamanca & Haymes 1993). Tutkimuksissa raudanpuute on määritetty, kun seerumin ferritiinipitoisuus on ollut 12–20 µg/l välillä (Alaunyte ym. 2014; Auersperger ym. 2013; DellaValle & Haas 2011; DellaValle & Haas 2012; Pate ym. 1993). Lisäksi esimerkiksi DellaVallen ja Haasin (2011) tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevä yhteys havaittiin seerumin ferritiinin ja suorituksen keston väliltä, kun seerumin ferritiini oli 15 µg/l, 20 µg/l tai 25 µg/l, mutta yhteyttä ei enää havaittu arvolla 30 µg/l. Tämän perusteella on mahdollista, että tähän tutkimukseen valittu ferritiiniarvo on voinut vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin ja mahdollisesti siihen, että rautastatuksen ja VO₂max:in välillä havaittiin yhteys vain yhdessä tarkastellussa ryhmässä. Suorituskyykymuuttujien ja rautastatuksen välisen yhteyden tarkastelu alle 30 µg/l ferritiiniarvoilla olisi ollut mielenkiintoista, mutta ei tässä tutkimuksessa kovinkaan luotettavaa, sillä tutkittavia, joilla oli selvä raudanpuute, oli vähän.

Ferritiiniarvon rajausta tutkielmassa 30 µg/l:aan on voinut mahdollisesti vaikuttaa siihen, että yhteys rautastatuksen ja VO₂max:in välillä havaittiin vain yhdessä yhdeksästä tarkastellusta ryhmästä. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi tarkastelin muuttujien välisiä yhteyksiä lopullisen jaon lisäksi jakamalla koko aineiston sekä koe- ja kontrolliryhmät kolmeen eri rautastatusryhmään: < 30 µg/l, 30-60 µg/l ja > 60 µg/l. Kyseisten ryhmien tuloksissa ei kuitenkaan ollut merkittäviä muutoksia verrattuna nykyisiin tuloksiin, joten päädyin tarkastelemaan muuttujia kahdessa eri rautastatusryhmässä, jotta ryhmäkoot eivät pieneneisi enempää.

Tutkimuksen tuloksiin on voinut vaikuttaa myös rautastatuksen tarkastelu seerumin ferritiinin avulla. Seerumin ferritiini on akuutin faasin proteiini eli sen konsentraatio voi kasvaa

tulehdustilassa, vaikka todellisuudessa rautastatus olisi heikko (Clénin ym. 2015). Tämän vuoksi on mahdollista, että tutkimuksessa mitatut seerumin ferritiiniarvot eivät pidä paikkaansa. Ferritiiniarvojen luotettavuutta on kuitenkin vaikea arvioida, sillä tutkimuksessa ei mitattu yleensä rautastatuksen arvioimisessa hyödynnettäviä CPR- tai TfR-pitoisuuksia. CPR:n avulla olisi voitu havaita tutkittavien mahdollinen tulehdustila. Jos tulehdustila olisi havaittu, TfR:n avulla olisi ollut parempi tarkastella raudanpuutteen esiintyvyyttä verrattuna seerumin ferritiiniin, sillä TfR:n pitoisuus ei nouse infektion myötä. (Daru ym. 2017) Pfeifferin ja Lookerin (2017) mukaan tulehdustila voi kuitenkin näkyä myös alentuneena hemoglobiiniarvona. Näin ollen hemoglobiiniarvojen avulla voidaan nyt arvioida tulehdustilan mahdollisuutta ja mitattujen ferritiiniarvojen luotettavuutta. Tutkittavien hemoglobiiniarvot olivat viitearvoissa, lukuun ottamatta kahta tutkittavaa. Tämän perusteella korkeintaan kahdella tutkittavalla saattoi olla tulehdustila ja sen takia vääristyneet ferritiiniarvot. On kuitenkin huomioitava, ettei mahdollinen ferritiiniarvojen vääristyminen välttämättä vaikuta tutkimuksen tuloksiin, sillä kyseiset tutkittavat kuuluivat eri tarkasteltaviin ryhmiin. Lisäksi muiden tutkittavien ferritiiniarvot pitävät todennäköisesti paikkaansa. Tulehduksen ja ferritiiniarvojen paikkaansa pitävyttä ei voida kuitenkaan sanoa täysin varmaksi pelkän hemoglobiinin tarkastelun avulla, sillä CPR-pitoisuutta ei mitattu.

Suorituskykyä oli myös alun perin tarkoitus tarkastella testin keston avulla teoreettisen hapenkulutuksen sijaan. Kuitenkin niin kuin aiemmin mainittiin, kaikki tutkittavat eivät aloittaneet suoraa hapenottokykytestiä samasta kuormasta, joten suorituskykyä ei voitu tarkastella testin keston avulla. Tämä vaikeutti tutkimusta, sillä aikaisempaa tutkimustietoa rautastatuksen ja teoreettisen VO_2 maxin väliltä ei löytynyt. Myöskään teoreettisen hapenkulutuksen avulla ei ole aiemmin tarkasteltu suorituskykyä vastaavalla koeryhmällä. Jos tutkittavat olisivat aloittaneet testin samalla kuormalla, olisi suorituskykyä voinut arvioida myös testin keston avulla sekä tarkastella sitä, olisivatko tulokset vastanneet nyt saatuja tuloksia. Näin olisi voitu myös tarkastella sitä, vahvistaako saadut tulokset aikaisempaa tutkimustietoa rautastatuksen vaikutuksesta testin keston. Nyt tätä mahdollista yhteyttä ei voida arvioida, vaikka teoreettisen hapenkulutuksen arvioimiseen hyödynnetäänkin sitä, miten pitkälle testissä on päästy.

Tutkimus antaa kuvan siitä, mikä on seerumin ferritiinin avulla tarkastellun rautastatuksen ja suorituskyvyn välinen yhteys. Jotta tutkimuksessa olisi saatu laajempi kuva rautastatuksen ja suorituskyvyn välisestä yhteydestä, olisi tutkimuksessa voitu tarkastella ferritiinin lisäksi

hemoglobiinin yhteyttä suorituskykymuuttujiin. Näin olisi voitu saada parempi käsitys siitä, miten suuri oksidatiivisen kapasiteetin yhteys suorituskykyyn on verratessa hapenkuljetuksen roolia hemoglobiinin avulla. Lisäksi hemoglobiinin tarkastelun avulla olisi voitu arvioida kriittisemmin, pitääkö Lamancan ja Haymesin (1993) teoria paikkaansa, siitä että $VO_2\text{max}$ ja suorituskyky ovat enemmän riippuvaisia veren hapenkuljetuskapasiteetista kuin oksidatiivisesta kapasiteetista. Hemoglobiinin tarkastelu olisi antanut myös vahvistusta siihen, vaikuttaako pelkkä ferritiini ilman hemoglobiinin laskua suorituskykyyn vai ei.

7.3 Johtopäätökset

Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että naiskestävyysurheilijoiden rautastatus on vähäisesti yhteydessä maksimaaliseen hapenottoon, mutta selkeämmin yhteydessä suorituskykyyn. Tutkimuksen mukaan normaali rautastatus on yhteydessä $VO_2\text{max}$:iin, mutta heikentyneellä rautastatuksella ei havaittu olevan yhteyttä $VO_2\text{max}$ -arvoihin. Puolestaan rautastatuksella ja suorituskyvyllä havaittiin yhteys sekä heikentyneen rautastatuksen että normaalin rautastatuksen omaavilla tutkittavilla. Näin ollen rautastatuksen noustessa myös suorituskyky nousee. Mutta kuten aiemmin todettiin, tutkimuksen tarkasteltavat ryhmät olivat osittain pieniä ja epätasaisen kokoisia, joten tulokset eivät ole yleistettävissä suurempaan joukkoon. On myös huomioitava, että tutkimuksessa muuttujien välillä havaitut korrelaatiot olivat vain kohtalaisia. Jos havaitut korrelaatiot olisivat olleet voimakkaampia, niin saatujen tulosten olisi voitu sanoa olevan todennäköisempiä.

Käytännön soveltaminen ja jatkotutkimus. Aiempien tutkimuksen perusteella on selvää, että raudanpuuteanemia heikentää sekä $VO_2\text{max}$ ia että suorituskykyä (Haas & Brownlie 2001). Puolestaan IDWA:n yhteys suorituskykyyn on edelleen epäselvä ja ristiriitaisia tuloksia on saatu. Näin ollen olisi hyvä jatkaa tutkimusta IDWA:n ja suorituskyvyn välisestä yhteydestä. Lisäksi eri rautastatusten yhteyttä suorituskykyyn olisi hyvä tutkia lisää, sillä ainakin tämän tutkimuksen perusteella jo heikentyneen rautastatuksen, joka ei välttämättä ole vielä johtanut raudanpuutteeseen, nähdään mahdollisesti olevan yhteydessä suorituskykyyn. Jatkossa olisi myös mielenkiintoista tutkia viitearvoissa olevien, mutta normaalia korkeampien rauta-arvojen yhteyttä suorituskykyyn. Tulevaisuuden tutkimuksissa olisi myös hyvä määrittää rautastatus useamman rautaparametrimuuttujan avulla. Seerumin ferritiinin ja hemoglobiinin lisäksi olisi syytä tarkastella TfR-pitoisuutta, jotta elimistön rautastatus saataisiin määritettyä

mahdollisimman tarkasti. Lisäksi olisi hyvä mitata CPR mahdollisen tulehdustilan poissulkemiseksi. (Daru ym. 2017) Jatkotutkimusten avulla urheilijan rautastatuksen ja suorituskyvyn välistä yhteyttä kyettäisiin ymmärtämään kokonaisvaltaisemmin. Rautastatuksen merkitystä olisi myös tärkeä tuoda enemmän urheilijoiden tietoisuuteen. Näin yhä useampi urheilija kykenisi huomioimaan rautastatuksen yhtenä monista suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä.

LÄHTEET

- 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.org/10.1186/s12970-015-0099-2.
- Alaunyte, I., Stojceska, V., Plunkett, A., & Derbyshire, E. (2014). Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 11(1), 50. doi.org/10.1186/s12970-014-0050-y.
- Auersperger, I., Škof, B., Leskošek, B., Knap, B., Jerin, A., & Lainscak, M. (2013). Exercise-induced changes in iron status and hepcidin response in female runners. *PloS one*, 8(3), e58090. doi.org/10.1371/journal.pone.0058090.
- Bassett, D. R., Jr, & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70–84. doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012.
- Beard, J., & Tobin, B. (2000). Iron status and exercise. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2), 594–597.
- Beermann, B. L., Lee, D. G., Almstedt, H. C., & McCormack, W. P. (2020). Nutritional Intake and Energy Availability of Collegiate Distance Runners. *Journal of the American College of Nutrition*, 39(8), 747–755. doi.org/10.1080/07315724.2020.1735570.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Pérusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., & Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(2), 252–258. doi.org/10.1097/00005768-199802000-00013.
- 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(4), 734–742. doi.org/10.1093/ajcn/75.4.734.
- Celsing, F., & Ekblom, B. (1986). Anemia causes a relative decrease in blood lactate concentration during exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 55(1), 74–78. doi.org/10.1007/BF00422897.

- Celsing, F., Blomstrand, E., Werner, B., Pihlstedt, P., & Ekblom, B. (1986). Effects of iron deficiency on endurance and muscle enzyme activity in man. *Medicine and science in sports and exercise*, 18(2), 156–161.
- Cerrettelli, P. & Di Prampero, P.E. (1987). Gas exchange in exercise. In A.P. Fishman, L.E. Farhi, S.M. Tenney & S.R. Geiger (Eds.), *Handbook of physiology*, 297–339. Bethesda, MD: American Physiological Society.
- Clénin, G., Cordes, M., Huber, A., Schumacher, Y. O., Noack, P., Scales, J., & Kriemler, S. (2015). Iron deficiency in sports - definition, influence on performance and therapy. *Swiss medical weekly*, 145, w14196. doi.org/10.4414/smw.2015.14196.
- Cook, J. D., Baynes, R. D., & Skikne, B. S. (1992). Iron deficiency and the measurement of iron status. *Nutrition research reviews*, 5(1), 198–202. doi.org/10.1079/NRR19920014.
- Daru, J., Colman, K., Stanworth, S. J., De La Salle, B., 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 (6), 1634–1639. doi.org/10.3945/ajcn.117.155960.
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2011). Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: a study of female collegiate rowers. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 21(6), 501–506. doi.org/10.1123/ijsnem.21.6.501.
- 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.org/10.1249/MSS.0b013e3182517ceb.
- Ebeling, F., Sinisalo, M., Säily, M., Widenius, T., Kuittinen, T., Itälä-Remes, M. & Remes, K. (2019). Raudanpuute ilman anemiaa. Miten ferritiiniarvoa tulkitaan. *Suomalainen lääkärilehti* 74: 476–8.
- Friedmann, B., Weller, E., Mairbaur, H., & Bärtsch, P. (2001). Effects of iron repletion on blood volume and performance capacity in young athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(5), 741–746. doi.org/10.1097/00005768-200105000-00010.
- Ganz, T., & Nemeth, E. (2012). Iron metabolism: interactions with normal and disordered erythropoiesis. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2(5), a011668. doi.org/10.1101/cshperspect.a011668.
- Gardner, G. W., Edgerton, V. R., Senewiratne, B., Barnard, R. J., & Ohira, Y. (1977). Physical work capacity and metabolic stress in subjects with iron deficiency anemia. *The American journal of clinical nutrition*, 30(6), 910–917. doi.org/10.1093/ajcn/30.6.910.

- Haas, J. D., & Brownlie, T., 4th (2001). Iron deficiency and reduced work capacity: a critical review of the research to determine a causal relationship. *The Journal of nutrition*, 131(2S-2), 676–690. doi.org/10.1093/jn/131.2.676S.
- Hall, J. & Hall, M. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology*. 14. painos. Philadelphia: Elsevier.
- Hauswirth & Le Meur. (2012). *Physiological Demands of Endurance Performance*. Teoksessa Mujika, I. *Endurance training: Science and practice*. Vitoria-Gasteiz, Basque Country, Spain: Iñigo Mujika., 4–6.
- Hinton, P. S., Giordano, C., Brownlie, T., & Haas, J. D. (2000). Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women. *Journal of applied physiology*. Bethesda, 88(3), 1103–1111. doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.1103.
- Houston, B. L., Hurrie, D., Graham, J., Perija, B., Rimmer, E., Rabbani, 5 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 nonanaemic iron-deficient adults: a systematic review of randomised controlled trials. *British Medical Journal* 5; 8 (4). doi: 10.1136/bmjopen-2017–019240.
- Hulkkonen, J., Aatola, H., Pälve, K., Lehtimäki, T., Hutri-Kähönen, N., Viikari, J. S., Raitakari, O. T., & Kähönen, 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.org/10.1186/1471-2261-14-35.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine*. Auckland, N.Z., 29(6), 373–386. doi.org/10.2165/00007256-200029060-00001.
- Lamanca, J. J., & Haymes, E. M. (1993). Effects of iron repletion on VO₂max, endurance, and blood lactate in women. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(12), 1386–1392.
- Latunde-Dada G. O. (2013). Iron metabolism in athletes--achieving a gold standard. *European journal of haematology*, 90(1), 10–15. doi.org/10.1111/ejh.12026.
- Li, R., Chen, X., Yan, H., Deurenberg, P., Garby, L., & Hautvast, J. G. (1994). Functional consequences of iron supplementation in iron-deficient female cotton mill workers in Beijing, China. *The American journal of clinical nutrition*, 59(4), 908–913. doi.org/10.1093/ajcn/59.4.908.

- Londeree, B. R. (1986). The use of laboratory test results with long distance runners. *Sports medicine*. Auckland, N.Z., 3 (3), 201–213.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance*. 8. painos. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- McClung J. P. (2012). Iron status and the female athlete. *Journal of trace elements in medicine and biology: organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 26(2–3), 124–126. doi.org/10.1016/j.jtemb.2012.03.006.
- McClung J. P. (2019). Iron, Zinc, and Physical Performance. *Biological trace element research*, 188(1), 135–139. doi.org/10.1007/s12011-018-1479-7.
- Mei, Z., Cogswell, M. E., Parvanta, I., Lynch, S., Beard, J. L., Stoltzfus, R. J., & Grummer-Strawn, L. M. (2005). Hemoglobin and ferritin are currently the most efficient indicators of population response to iron interventions: an analysis of nine randomized controlled trials. *The Journal of nutrition*, 135(8), 1974–1980. doi.org/10.1093/jn/135.8.1974.
- Milman N. (2011). Anemia--still a major health problem in many parts of the world. *Annals of hematology*, 90(4), 369–377. doi.org/10.1007/s00277-010-1144-5.
- 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.
- Nummela, A. & Häkkinen, K. (2016). *Kestävyysurheilu ja voimaharjoittelu kestävyyslajeissa*. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, S. Kalaja & K. Häkkinen. *Huippu-urheiluvallmennus*. Lahti: VK Kustannus Oy, 272.
- Nummela, A. & Peltonen, J. (2018) *Suorat testit*. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. *Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille*. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura, 80–95.
- Nummela, A. & Peltonen, J. (2018). *Kestävyysfysiologiset perusteet*. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. *Fyysisen kunnon mittaaminen – käsi- ja oppikirja kuntotestaaajille*. Helsinki: Liikuntatieteellinen Seura, 65.
- Nummela, A. (2017). *Kestävyysvoimaa suorituksen taloudellisuutta parantamalla*. *Liikunta & Tiede* 64 (6), 22–26.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Hämäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *Journal of applied physiology*, 86(5), 1527–1533. doi.org/10.1152/jappl.1999.86.5.1527.

- Pate, R. R., Miller, B. J., Davis, J. M., Slentz, C. A., & Klingshirn, L. A. (1993). Iron status of female runners. *International journal of sport nutrition*, 3(2), 222–231. doi.org/10.1123/ijnsn.3.2.222.
- Pfeiffer, C. M., & Looker, A. C. (2017). Laboratory methodologies for indicators of iron status: strengths, limitations, and analytical challenges. *The American journal of clinical nutrition*, 106 (6), 1606–1614. doi.org/10.3945/ajcn.117.155887.
- Powers, S. K., Lawler, J., Dempsey, J. A., Dodd, S. & Landry, G. (1989). Effects of incomplete pulmonary gas exchange on VO₂ max. *Journal of Applied Physiology* 66(6), 2491–2495. doi: 10.1152/jappl.1989.66.6.2491.
- Rajamäki, A. & Punnonen, K. (1998). Raudanpuuteanemian diagnostiikka ja hoito. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim*. 114, 1187–93.
- Restrepo-Gallego, M., Díaz, L. E., & Rondó, P. H. (2021). Classic and emergent indicators for the assessment of human iron status. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(17), 2827–2840.
- Rubeor, A., Goojha, C., Manning, J., & White, J. (2018). Does Iron Supplementation Improve Performance in Iron-Deficient Nonanemic Athletes? *Sports health*, 10(5), 400–405. doi.org/10.1177/1941738118777488.
- Schutte, N. M., Nederend, I., Hudziak, J. J., Bartels, M. & de Geus, E. J. C. (2016). Twinsibling study and meta-analysis on the heritability of maximal oxygen consumption. *Physiological Genomics* 48(3), 210–219. doi:10.1152/physiolgenomics.00117.2015.
- Sharma, R., & Sharma, S. (2023). *Physiology, Blood Volume*. In StatPearls. StatPearls Publishing.
- Sinisalo, M. & Collin, P. (2016). Raudanpuuteanemian syyt ja diagnostiikka. *Potilaan Lääkärilehti* 71, 2251. Viitattu 8.1.2024. <https://www.potilaanlaakarilehti.fi/site/assets/files/0/04/28/065/sll372016-2251.pdf>
- Tunturi, S. (2022). Punasolujen määrä (B-Eryt) ja hematokriitti (B-Hkr). *Duodecim Terveyskirjasto*. Viitattu 12.1.2024. <https://www.terveyskirjasto.fi/snk03032>.
- Woodson, R. D., Wills, R. E., & Lenfant, C. (1978). Effect of acute and established anemia on O₂ transport at rest, submaximal and maximal work. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 44(1), 36–43. doi.org/10.1152/jappl.1978.44.1.36.
- 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/ijnsnem.19.5.519.

World Health Organization. (2011). Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity. World Health Organization. Viitattu 12.1.2024. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/85839/WHO_NMH_NHD_MNM_11.1_eng.pdf?sequence=22.

World Health Organization. (2020). WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in populations. World Health Organization. Viitattu 12.1.2024. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/331505/9789240000124-eng.pdf?sequence=1>.