

**LEPOAINEENVAIHDUNNAN MÄÄRITTÄMINEN  
EPÄSUORALLA KALORIMETRIALLA JA NAISURHEILIJAN  
OIREYHTYMÄ**

Lehtonen Elias

Liikuntafysiologia

Kandidaatintutkielma

Kevät 2018

Liikuntabiologia

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaajat: Antti Mero ja Ari Nummela

## TIIVISTELMÄ

**Elias Lehtonen** (2018). Lepoaineenvaihdunnan määrittäminen epäsuoralla kalorimetrialla ja naisurheilijan oireyhtymä. Liikuntabiologinen oppiaineryhmä, Jyväskylän yliopisto, kandidaatintutkielma, 53s.

**Johdanto.** Epäsuora kalorimetria on yleinen tapa määrittää lepoaineenvaihdunta ( $LAV_{ESK}$ ). Tarkoituksena on tutkia  $LAV_{ESK}$ :n toistettavuutta ja pätevyyttä kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla määritettynä. Tutkimuksen toisessa osassa tutkitaan antropometrinen ja hormonaalisten muuttujien yhteyttä lepoaineenvaihduntaan naiskestävyysjuoksijoilla. Naisurheilijan oireyhtymässä alhainen energiansaataavuus, kuukautiskierron häiriöt sekä alentunut luuston massa yhdistyvät toisiinsa. Alhainen energiansaataavuus on yhteydessä adaptiiviseen termogeneesiin, jolloin havaitaan muutoksia myös lepoaineenvaihdunnassa.

**Menetelmät.**  $LAV_{ESK}$ :n toistettavuuden osalta aineisto koostuu terveistä nuorista aikuisista ( $n = 11$ ). Toistettavuutta tutkittiin toistamalla koehenkilöille samalla protokollalla puolen tunnin  $LAV$ -mittaus kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla (Oxycon Mobile) viikon sisällä toisistaan. Pätevyyttä arvioitiin vertailemalla mitattuja arvoja Cunninghamin ja Harris-Benedictin (HB) -yhtälöillä laskettuihin  $LAV$ -arvoihin. Kestävyysjuoksijoilta ja heidän verrokeiltaan mitattiin lepoaineenvaihdunta, hormonaaliset tekijät (trijodyroniini, estradioli, insuliinin kaltainen kasvutekijä -1, insuliini, kortisoli) sekä antropometriset muuttujat (pituus, paino, kehonkoostumus).

**Tulokset.** Kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla suoritettu  $LAV$ -mittaus on toistettava ( $r = 0,905$ ,  $p < 0,01$ ,  $ICC = 0,886$ ,  $p < 0,01$ ). Hapenkulutuksen ( $VO_2$ ) ja hiilidioksidintuoton ( $VCO_2$ ) osalta variaatiokertoimet puoltavat riittävän vakaan lepotilan saavuttamista sekä mittausmenetelmän vakautta viimeisen viiden ja kymmenen minuutin osalta ( $vkVO_2$   $6,3 \pm 1,8$  % ja  $6,7 \pm 2,5$  %;  $vkVCO_2$   $7,2 \pm 2,5$  % ja  $7,5 \pm 2,3$  %).  $LAV_{ESK}$  korreloi vahvasti sekä HB että Cunninghamin yhtälön perusteella määritetyn  $LAV$ :n kanssa ( $r = 0,929$ ,  $p < 0,01$ ;  $r = 0,887$ ,  $p < 0,01$ ), mutta mahdollisesti yliarvioi  $LAV$ :n tasoa ( $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhde 1,10). Hapenkulutus kehonpainoon suhteutettuna oli kirjallisuuteen perustuvia arvoja korkeampi ( $3,75 \pm 0,32$  ml/kg/min). Naiskestävyysjuoksijoilla  $LAV_{ESK}$  korreloi vahvasti painon, BMI:n rasvattoman massan sekä rasvamassan kanssa ( $r = 0,911$ ,  $p < 0,01$ ;  $r = 0,708$ ,  $p < 0,05$ ;  $r = 0,858$ ,  $p < 0,01$ ;  $r = 0,830$ ,  $p < 0,01$ ). Kahdella juoksijalla oli  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen perusteella alentunut lepoaineenvaihdunta.

**Pohdinta.** Kannettavalla hengityskaasuanalysaattorilla mitattu  $LAV_{ESK}$  on tilastollisesti toistettava, mutta mahdollisesti ei niin tarkka, että sitä kannattaisi hyödyntää yksilön  $LAV$ :n arvioimisessa. Havaitun muutoksen tulisi olla vähintään 8 %:n luokkaa, jotta se ylittää peräkkäisten mittauksien välisen vaihtelun. Tyypillisesti alentuneen energia-aineenvaihdunnan kriteerinä on käytetty urheilijoilla 90 % tasoa normaalista  $LAV$ :sta, joten joissain tapauksissa tämä muutos voi jäädä huomaamatta.  $LAV$ -arvon toistettavuuden ja siten luotettavuuden lisäämiseksi tulisi mittaukset toistaa lyhyen aikavälin sisällä toisistaan. Menetelmä mahdollisesti yliarvioi energiankulutusta matalilla hapenkulutuksen, hiilidioksidintuoton sekä ventilaation tasoilla vastaten tämän osalta aikaisempia tutkimustuloksia, joten kiinteän hengityskaasuanalysaattorin ja kuvun käyttäminen kaasujen keräykseen on pätevämpi menetelmä  $LAV$ -mittauksessa.  $LAV_{ESK}$  on mahdollinen tapa tunnistaa ja arvioida naisurheilijan oireyhtymää, mutta alentunut  $LAV$  yksinään ei välttämättä ole yhteydessä muihin naisurheilijan oireyhtymän oireisiin. Oikean kokonaiskuvan saamiseksi  $LAV_{ESK}$  -arvo tulisi yhdistää hormonaalisiin muuttujiin ja muihin oireyhtymän tekijöihin kuten kuukautiskierron häiriöihin sekä alentuneeseen luuston massaan.

**Avainsanat:** lepoaineenvaihdunta, epäsuora kalorimetria, toistettavuus, pätevyys, naisurheilijan oireyhtymä, hormonitoiminta, adaptiivinen termogeneesi.

## KÄYTETYT LYHENTEET

BMI	Body mass index, kehon massaindeksi
DXA	Dual-energy X-ray absorptiometry, kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometria
E <sub>2</sub>	Estradioli
ES	Energian saatavuus
EPOC	Excessive post-exercise oxygen consumption, suorituksen jälkeinen lepoahapenkulutuksen ylittävä hapenkulutus
ESK	Epäsuora kalorimetria
FM	Fat mass, kehon rasvamassa
ICC	Intra-class correlation, sisäkorrelaatiokerroin
IGF-1	Insulin growth factor-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä -1
HB	Harris-Benedictin -yhtälö
LAV	Lepoaineenvaihdunta
LAV <sub>ESK</sub>	Epäsuoran kalorimetrian avulla määritetty lepoaineenvaihdunta
LAV <sub>HB</sub>	Harris-Benedictin yhtälöllä määritetty lepoaineenvaihdunta
LAV <sub>lbm</sub>	Rasvattomaan kehon massa suhteutettu epäsuoralla kalorimetrialla määritetty lepoaineenvaihdunta
LBM	Lean body mass, kehon rasvaton massa
RQ	Respiratory quotient, hengitysosamäärä
T3	Triiodothyronine, trijodityroniini
T4	Thyroxine, tyroksiini
VCO <sub>2</sub>	Volume carbon dioxide, hiilidioksidintuotto
VO <sub>2</sub>	Volume oxygen, hapenkulutus
VT	Ventilatory threshold, hengityskaasukynnys

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 LEPOAINEENVAIHDUNNAN MÄÄRITTÄMINEN EPÄSUORAN KALORIMETRIAN AVULLA.....	4
2.1 Lepoaineenvaihduntamittausten vakioiminen .....	4
2.2 Lepoaineenvaihduntamittausten luotettavuus.....	5
3 LEPOAINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT LIKUNNALLISET JA RAVITSEMUKSELLISET TEKIJÄT .....	8
3.1 Adaptiivinen termogeneesi .....	8
3.2 Fyysisen aktiivisuuden ja ravitsemuksen vaikutus lepoaineenvaihduntaan .....	9
3.3 Alhaisen energiansaannin riskit urheilijoilla .....	11
4 LEPOAINEENVAIHDUNTA, HORMONAALINEN TOIMINTA SEKÄ LUUSTON TERVEYS .....	13
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESIT .....	17
6 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	20
6.1 Koehenkilöt .....	20
6.2 Lepoaineenvaihdunnan toistettavuus.....	20
6.2.1 Lepoaineenvaihdunnan mittaus .....	20
6.2.2 Kehonkoostumuksen määrittäminen .....	22
6.3 Lepoaineenvaihdunnan yhteys naisurheilijan oireyhtymään nuorilla kestävyysjuoksijoilla .....	22
6.3.1. KEHONKOOSTUMUKSEN MÄÄRITTÄMINEN.....	23
7 TULOKSET .....	26
7.1. Lepoaineenvaihdunnan mittauksen toistettavuus ja pätevyys .....	26

7.2. Lepoaineenvaihdunta, kehonkoostumus ja hormonaalinen toiminta naiskestävyysurheilijoilla .....	33
8 POHDINTA.....	41
8.1. Epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn lepoaineenvaihdunnan toistettavuus ja pätevyys 41	
8.2. Lepoaineenvaihdunnan yhteydet antropometrisiin ja hormonaalisiin tekijöihin naiskestävyysjuoksijoilla sekä verrokeilla.....	45
LÄHTEET .....	49

# 1 JOHDANTO

Lepoaineenvaihdunnan (LAV) tason määrittäminen voi olla merkittävä tekijä kestävyysurheilijoiden harjoittelun sekä ravitsemuksen yhteisvaikutuksia tarkasteltaessa. On mahdollista, että suurempi energiansaanti suhteessa kulutukseen on kestävyysurheilijoilla yhteydessä parempaan terveyteen sekä suurempiin harjoitusadaptaatioihin. Vastaavasti huono energiatasapaino on yhteydessä huonompaan kehitykseen sekä alentuneeseen immuunipuolustukseen sekä lisääntyneihin rasitusvammoihin (Ackerman ja Misra 2011). Harjoitusadaptaatiot ovat aineenvaihdunnallisia prosesseja, jotka tapahtuvat pääosin levossa. Tällöin on oletettavissa, että korkeampi LAV suhteessa kehon rasvattomaan massaan on yhteydessä myös suurempaan harjoitusadaptaatioiden määrään levossa (Saris 2001). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tutkita harjoitusadaptaatioita taikka energiatasapainoa määrittämällä kokonaisenergiankulutusta ja -saantia.

Energiansaannin niukkuuden on havaittu aiheuttavan ihmisillä ns. adaptiivista termogeneesiä, jossa aineenvaihdunnan taso alenee kun energiansaanti on energiantarvetta niukempaa. Ilmiötä on tutkittu erityisesti ylipainoisilla ja usein fyysisesti passiivisilla henkilöillä. (Rosenbaum ym. 2016). Kovaa harjoittelevat kestävyysurheilijat voivat helposti altistua alhaiselle energiansaannille johtuen heidän kovasta energiankulutuksesta (Melin ym. 2015). Toisaalta fyysinen aktiivisuus ylläpitää ja kasvattaa mahdollisesti myös LAV:a.

Perusaineenvaihdunta (PAV) kuvaa henkilön fyysisestä aktiivisuudesta riippumatonta aineenvaihdunnan tasoa. Tämä taso voidaan määrittää, kun henkilö ei ole syönyt kahteentoista tuntiin, on nukkunut levolliset yöunet eikä hän ole suorittanut raskaita fyysisiä toimenpiteitä testiä edeltävän tunnin aikana. Edelleen kaikki fyysiset ja psyykkiset tekijät, jotka aiheuttavat jännitystä tulisi eliminoida, huoneen lämpötilan tulisi olla miellyttävä ja lämpötilan asteluku 20,0 – 26,7 °C . Testin aikana ei myöskään sallita fyysistä aktiivisuutta. (Guyton ja Hall, 2011, 863). LAV voidaan määrittää myös jonkin verran löyhemmillä kriteereillä. Tutkimuksessa käytetään termiä LAV, vaikka mittausten vakioinnin osalta noudatettiin PAV-

kriteereitä. Kirjallisuudessa käytetään tyypillisesti termiä ”resting metabolic rate”, kun määrittäminen on tehty hengityskaasuanalysointilla, vaikka yllä mainitut kriteerit muuten täyttyisivätkin.

PAV koostuu elimistön välttämättömistä toiminnoista kuten keskushermoston, sydämen, munuaisten sekä muiden sisäelinten toiminnasta. Yksilöllinen vaihtelu PAV:ssa kuitenkin johtuu ensisijaisesti eroista kehon koossa ja varsinkin eroista lihasmassan määrässä. Luurankolihas vastaa noin 20-30% PAV:sta. Iästä ja sukupuolesta johtuvat erot PAV:ssa syntyvät luultavasti ennen kaikkea eroista lihasmassan määrässä. Hormonaalisista tekijöistä PAV:n tasoon vaikuttavat ennen kaikkea kilpirauhashormonit, joiden lisääntynyt erityis voi kiihdyttää aineenvaihduntaa jopa 50-100%. Vastaavasti kilpirauhasen vajaatoiminta voi vähentää PAV:n tasoa jopa 40-60%:in normaalista. Tämä vaikutus johtuu tyroksiinin (T4) kemiallisia reaktioita kiihdyttävästä vaikutuksesta. Testosteroni voi myös nostaa PAV:aa 10-15%, joskin suurin osa tästä selittyy testosteronin anabolisella vaikutuksella, joka lisää proteiinisynteesiä ja sitä kautta lihasmassaa. Myös estrogeeni voi lisätä PAV:n tasoa, mutta huomattavasti vähemmän kuin testosteroni. Samaten kasvuhormoni kiihdyttää aineenvaihdunnan tasoa kiihdyttämällä soluaineenvaihduntaa ja lisäämällä luurankolihasmassaa. (Guyton ja Hall 2011, 864.)

Tutkimuksen tarkoitus on perehtyä LAV:n mittaamiseen sekä sen yhteyteen eri fysiologisiin muuttujiin naispuolisilla kestävyysurheilijoilla. Tutkimus koostuu kahdesta osuudesta, joista ensimmäinen koskee LAV:n mittausmenetelmän luotettavuutta ja toinen LAV:n yhteyksiä kestävyysurheilijan kehonkoostumukseen, hormonitoimintaan sekä luun terveyteen.

Tutkimuksessa on tarkoitus perehtyä siihen voiko breath-by-breath -menetelmällä hengityskaasuja mittaamalla arvioida luotettavasti henkilön LAV:n tasoa. Mittausmenetelmää voi pitää luotettavana ja tarkkana sen ollessa sekä pätevä että toistettava. Pätevyydellä tarkoitetaan sitä, että menetelmä mittaa sitä mitä sen pitää mitata. Lisäksi on tarkoitus arvioida LAV:n mittaukselle riittävää kestoa sekä sopivaa protokollaa. Mittaukset suoritetaan suun ja nenän peittävällä maskilla. Lisäksi on tarkoituksena arvioida kuinka mittauksen aikana mitattu

hapenkulutus ( $\text{VO}_2$ ) on suhteessa kehonkoostumuksen perusteella arvioituun lepo- ja perusaineenvaihduntaan.

Tutkimuksen toisessa osassa tarkastellaan naispuolisten kestävyysjuoksijoiden sekä heidän verrokkiensa LAV:n yhteyttä kehonkoostumukseen ja veren hormonipitoisuuksiin. Lisäksi on tarkoitus tutkia erottuuko tutkittavista alentuneen LAV:n yksilöitä ja tutkia eroavatko he ryhmänä normaalin energia-aineenvaihdunnan ryhmästä yllä mainittujen tekijöiden osalta.



## 2 LEPOAINEENVAIHDUNNAN MÄÄRITTÄMINEN EPÄSUORAN KALORIMETRIAN AVULLA

### 2.1 Lepoaineenvaihduntamittausten vakioiminen

Epäsuoran kalorimetrian (ESK) avulla tehtävään lepoaineenvaihdunnan (LAV) määrittämiseen vaikuttavat useat tekijät. Tapoja määrittää LAV ESK:n avulla on useita, joten myös määrittäminen voi vaikuttaa saatuun tulokseen. Compher ym. (2006) tekivät systemaattisen katsauksen LAV-määrittämisestä koskeviin tutkimuksiin, jotta saataisiin muodostettua käsitys ihanteellisesta testattavan ja ympäristön tilanteesta sekä luotettava testimenetelmä LAV-määrittämiseen. Energiantarpeen määrittäminen on tärkeä osa kliinistä ravitsemustiedettä sekä olennainen osa ravitsemuksen arvioimisessa, jotta voidaan verrata tasapainoa energiansaannin ja -kulutuksen välillä. Energiantarve voidaan joko mitata tai arvioida ja mittausten pitäisi olla tarkempi keino yksilön energian tarpeen määrittämiseen, mutta vain jos mittausprotokolla on toimiva. The American Dietetic Association on arvioinut ESK:n tarkimmaksi tavaksi LAV:n mittamiseen. (Compher ym. 2006).

Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen avulla pyrittiin vastaamaan kymmeneen kysymykseen LAV-määrittämisestä ESK:n avulla: 1) Kuinka pitkä paasto-aika on tarpeen ennen mittauksia; 2) Aiheuttavatko nikotiini tai kofeiini virheitä LAV-mittauksiin; 3) Kuinka pitkä lepojakso on tarpeen ennen LAV-mittauksen aloitusta; 4) Miltä aikaväliltä tulisi fyysistä aktiivisuutta rajoittaa ennen LAV-mittauksia; 5) Vaikuttaako kehon asento aineenvaihdunnan tasoon; 6) Mitä ympäristöllisiä seikkoja tulisi kontrolloida tarkan LAV-mittauksen suorittamiseksi; 7) Aiheuttavatko eri hengityskaasuanalysointimenetelmien eroja LAV-arvoihin; 8) Kuinka suuri hapenkulutuksen ( $VO_2$ ) ja hiilidioksidin tuoton ( $VCO_2$ ) variaatio on hyväksyttävissä mittauksen aikana, jotta mittaus heijastaa ”steady state” mittausolosuhteita, ja kuinka monta mittauksia vaaditaan LAV-arvioimiseksi; 9) Mitä eroja LAV-arvoon aiheuttaa yksilön mittaaminen eri aikoihin päivästä tai eri päivinä; 10) Kuinka hengitysosamäärää (RQ) tulisi hyödyntää LAV-mittauksen tulkitsemisessä. (Compher ym. 2006).

Compher ym. (2006) mukaan LAV-mittaus tulisi suorittaa seuraavanlaisissa olosuhteissa: mittaukset tulisi suorittaa hiljaisessa ja rauhallisessa tilassa huoneen lämmön ollessa 20 - 25 °C ja koehenkilölle tulisi olla tarjolla kevyet lakanat pyydettyinä; mittausta edeltävän paaston tulisi kestää vähintään 6 tuntia ja kofeiinia tulisi välttää yön yli, nikotiinin ja alkoholin osalta 2 tunnin käyttämättömyys riittää; keskiraskasta fyysistä aktiivisuutta tulisi välttää vähintään 2 tuntia ennen mittausta ja raskasta fyysistä aktiivisuutta mahdollisesti 14 tuntia; mittaukset tulisi tehdä makuuasennossa tai aavistuksen tuetussa asennossa; tutkimuksissa on ehdotettu 30 minuutin lepoa ennen mittaukset aloittamisesta, mutta 7-20 minuutin lepo näyttäisi olevan riittävä mikäli mittauksen ensimmäistä 5 minuuttia ei käytetä. Pitkittynyt (24-48h) fyysisen kuormituksen välttäminen ei näytä olevan tarpeen. Kevyen ja lyhytkestoisien aerobisen liikunnan jälkeen kahden tunnin lepojakso lienee riittävä. Raskaalla voimaharjoituksella on pitkittyneempi vaikutus LAV:aan ja sitä tulisi välttää vähintään 14 tuntia ennen mittausta. Mittausvälineistöllä ei vaikuta olevan vaikutusta mittaustulokseen, mutta on tärkeää huolehtia, ettei maskista karkaa ilmaa. Tarkan mittaustuloksen saamiseksi riittää n. 5-10 minuutin mittaus, sen jälkeen kun ensimmäiset 5 minuuttia on jätetty huomioimatta, mikäli saavutetaan ”steady state” -tila. ”Steady state” -tilaksi määritellään 10% tai pienempi variaatiokerroin  $VO_2$  ja  $VCO_2$  osalta terveille aikuisille. Kun ”steady state” -tila saavutetaan, riittää yksi mittauskerta. Mikäli tilaa ei saavuteta, tulisi mittaukset toistaa 2 – 3 kertaa. Viikon sisällä tehdyt useat mittaukset vaihtelevat terveillä aikuisilla n. 4-6% (alle 100kcal/päivä). RQ:ää voidaan hyödyntää epätarkkojen mittausten havaitsemisessa sekä LAV-protokollan rikkomisessa jos RQ ei sijoitu välille 0,7-1,0. (Compher ym. 2006).

## **2.2 Lepoaineenvaihduntamittausten luotettavuus**

LAV:a käytetään usein päivittäisen energian tarpeen arvioimiseksi yksilöillä sekä väestötasolla. Normaalilla terveellä aktiivisella yksilöllä LAV muodostaa noin 60 – 75% kokonaisenergiankulutuksesta ja todennäköisesti enemmän hyvin inaktiivisella yksilöllä. Tällöin LAV:n vaikuttavalla interventiolla voi olla merkittävä vaikutus yksilön energiatasapainoon. (Roffey ym. 2006). Energiankulutuksen mittaukset voidaan jakaa suoran kalorimetrian, epäsuoran kalorimetrian sekä muihin fysiologisiin mittauksiin tai havaintoihin

perustuviin menetelmiin (Levine 2005). Suora kalorimetria perustuu lämpökadon mittaamiseen ja epäsuora kalorimetria hapenkulutuksen ja hiilidioksidintuoton mittaukseen. Muita energiankulutusta arvioivia menetelmiä ovat esimerkiksi kaksoismerkitty vesi sekä fyysisen aktiivisuuden mittaukseen perustuvat menetelmät kuten syke. Kuitenkin vain suoraa ja epäsuoraa kalorimetriaa suositellaan lepoaineenvaihdunnan mittaamiseen. Suora kalorimetria on käytössä vain harvoissa paikoissa johtuen sen korkeasta hinnasta sekä ylläpitovaatimuksista. Epäsuoraa kalorimetriaa pidetään pätevimpänä yleisesti käytössä olevana menetelmänä lepoaineenvaihdunnan määrittämisessä sen tarkkuuden ollessa jopa 1 %:n luokkaa hyvin kalibroituna. (Levine 2005).

Roffey ym. (2006) pyrkivät arvioimaan kuinka suuri muutos LAV:ssa tulisi havaita intervention seurauksena, jotta muutosta voitaisiin pitää merkittävänä. Hengityskupumittausta pidetään LAV:n määrittämisen parhaana menetelmänä, mutta myös hengitysmaskeja käytetään mittauksissa. Hengitysmaski on mahdollisesti epänormaali tila koehenkilölle ja aiheuttaa siten muutoksia hengityskäyttäytymisessä sekä lisää levottomuutta. Nämä voivat vaikuttaa LAV:n tasoon. Tutkimuksen toisena tarkoituksena oli arvioida näiden kahden menetelmän välisiä eroja terveillä inaktiivisilla aikuisilla. (Roffey ym. 2006).

Kymmenen koehenkilöä osallistui tutkimukseen. Heiltä mitattiin LAV:ta viitenä erillisenä päivänä kahden viikon jakson sisällä. Jokaisen mittauksen välillä oli vähintään yksi kokonainen päivä. Mittaukset suoritettiin termoneutraalissa ympäristössä eikä osallistujat saaneet harrastaa liikuntaa edellisenä päivänä ja heidän tuli saapua mittauspaikalle autolla tai bussilla testipäivän aamuna ja paastota 10 tuntia ennen mittauksia. Mittaukset suoritettiin aamuseitsemän ja -kymmenen välillä. Hengitysmaskilla mittauksen kesto oli 30 minuuttia, josta valittiin 10 minuutin jakso jossa variaatiokerroin oli hapenkulutuksen osalta pienin. Hengityskupumittauksen kesto oli 15 minuuttia. (Roffey ym. 2006).

Mittaukskertojen välillä ei havaittu merkittäviä eroja LAV:ssa kummallakaan menetelmällä. Hengitysmaskin avulla määritetty LAV oli merkittävästi korkeampi kuin hengityskuvulla määritetty ja vastaavasti RQ oli maskilla määritettäessä matalampi. Hengityskuvulla

mittauskertojen välinen variabiliteetti oli n. 5,2 % ja hengitysmaskilla 7,3 %. Tämän perusteella LAV:ssa tulisi havaita intervention seurauksena vähintään 6 % (hengityskupu) tai 8 % (hengitysmaski) muutos intervention seurauksena, jotta muutos johtuisi interventtiosta. Hengitysmaski saattaa olla koehenkilölle epänormaali tila ja aiheuttaa täten muutoksia henkisessä sekä fysiologisessa tilassa. Sykettä voidaan käyttää arvioimaan muutoksia näissä tiloissa. (Roffey ym. 2006).

Hopkins (2000) suosittelee, että arvioitaessa liikuntatieteellisten mittausten toistettavuutta tulisi ensisijaisesti soveltaa koehenkilön sisäistä vaihtelua toistetuissa mittauksissa kuten variaatiokerrointa. Variaatiokerroimen käyttö vaatii useamman kuin kaksi peräkkäistä mittausta, jolloin 95%:n luottamusväliä voidaan hyödyntää yksilön sisäisen vaihtelun arvioinnissa (Hopkins 2000). Pearsonin korrelaatiokerrointa hyödynnetään myös tyypillisesti toistettavuuden arvioinnissa, mutta se kuvastaa vain peräkkäisten mittausten korrelaatiota, ei välttämättä mittausten toistettavuutta (Koo ja Li, 2016). Korrelaatiotestit ovat herkkiä koehenkilöiden heterogeensyydelle siten, että pienemmillä ja homogeenisemmillä ryhmillä korrelaatio on tyypillisesti pienempi kuin suurilla ja heterogeenisillä ryhmillä (Hopkins 2000). Koo ja Li (2016) suosittlevat sisäkorrelaatiokerrointa (ICC) toistettavuuden mittariksi, sillä se kuvastaa sekä korrelaatiota että peräkkäisten mittausten yhdenmukaisuutta. ICC:tä on myös hyödynnetty LAV-mittausten toistettavuutta arvioitaessa, jolloin ICC-arvo oli 0,97 terveillä lapsilla ja 0,99 kystisestä fibroosista kärsivillä lapsilla (Ashley ym. 2001).

### 3 LEPOAINEENVAIHDUNTAAN VAIKUTTAVAT LIIKUNNALLISET JA RAVITSEMUKSELLISET TEKIJÄT

#### 3.1 Adaptiivinen termogeneesi

Rosenbaum ym. (2016) seurasivat 17 koehenkilön osalta painonpudotuksen vaikutusta energiankulutukseen. Erityisesti tarkoituksena oli tutkia adaptiivisena termogeneesinä tunnettua ilmiötä, jossa kehon aineenvaihdunnan taso muuttuu itsenäisesti suhteessa kehon rasvattomaan massaan (Manfred, 2016). Adaptiivista termogeneesiä on kuvattu kolmella eri mallilla. Ensimmäinen malli tunnetaan ”mekaanisena mallina”, jossa adaptiivista termogeneesiä ei ole vaan aineenvaihdunnan taso pysyy vakiona suhteessa metabolisesti aktiiviseen massaan (rasvaton massa). Toinen malli on lipostaattinen kynnyismalli, jossa perinnöllisyys, kasvu ja kehittyminen sekä ympäristön vaikutukset aivoihin määrittävät yksilöllisen energiavarastojen minimitason, jonka alle putoaminen saa aikaan suuremman energiankulutuksen laskun kuin mikä aiheutuu pelkästään kehon massan ja koostumuksen muutoksista. Kolmas malli tunnetaan jousivarausmallina (spring-loading model), jossa adaptiivisen termogeneesin suuruus on suhteellinen energiavarastojen hupenemiseen samassa suhteessa kuin Hooke’n jousivakiossa,  $T=kx$ . Tässä tapauksessa  $T$  = adaptiivinen termogeneesi,  $k$  = yksilöllinen vakio johon pudotetun painon määrä ei vaikuta ja  $x$  = pudotetun painon määrä. (Rosenbaum ym. 2016.)

Tulosten perusteella adaptiivisen termogeneesin kolme eri mallia selittävät energiankulutuksen eri osa-alueita painonpudotuksen yhteydessä. Mekaaninen malli pätee osittain sillä pudonneen painon ja energiankulutuksen alenemisen välillä on merkittävä korrelaatio. Tarvitaan kuitenkin muita malleja selittämään adaptiivisen termogeneesin ilmiötä. Kynnyismalli pätee lepoenergiankulutuksen osalta, sillä 10%:n painonpudotus aiheutti suuremman laskun energiankulutuksessa kuin pelkän mekaanisen mallin avulla ennustettaisiin. Vastaavaa lisälaskua ei havaittu, kun painoa pudotettiin lisää. Erityisesti rasvakudoksen määrä vaikuttaisi säätelevän tätä ilmiötä. Ylimääräinen energiankulutus (ei lepoenergiankulutus tai ruuan terminen efekti) vastaavasti vaikuttaisi seuraavan

”jousivakiomallia”. Yksilöiden välillä on suurta vaihtelua painonpudotuksen aiheuttamassa adaptiivisen termogeneesin määrässä. (Rosenbaum ym. 2016.)

Rasvamassan (FM) vaikutus kokonaisenergiankulutukseen kynnysmallin mukaan tukee olettamusta, että rasvakudoksen lähettämät signaalit säätelevät energiankulutusta siten, että energiankulutus vähenee merkittävämmiin painonpudotuksen myötä kuin se nousee painon noustessa. Adiposyyteissä muodostuva leptiinihormonin tuotanto vähenee lipostaattisen kynnysmallin mukaisesti painon pudotessa yli 10 %. FM:n vaikutus lepoenergiankulutukseen osaltaan tukee tätä olettamusta ja leptiinitäydennyksellä kyetään korjaamaan n. 2/3 kokonaisenergiankulutuksesta. Leptiinitäydennys palauttaa myös sympaattisen hermoston toimintaa, trijodityroniini (T3) sekä T4, mutta ei kuitenkaan parasympaattisen hermoston tonusta tai kilpirauhasta stimuloivaa hormonia painonpudotusta edeltävälle tasolle. Tämä viittaa myös muihin kuin leptiinisisidonnaisiin tekijöihin painonpudotuksessa. (Rosenbaum ym. 2016.)

### **3.2 Fyysisen aktiivisuuden ja ravitsemuksen vaikutus lepoaineenvaihduntaan**

LAV:n tasoon voivat vaikuttaa useat eri tekijät. Tavoitteena on perehtyä tutkimuskirjallisuuteen fyysisen aktiivisuuden ja ravitsemuksen mahdollisista vaikutuksista LAV-tasoon. Erityisesti katsauksessa käsitellään ravitsemuksen ja fyysisen aktiivisuuden vaikutusta LAV:an (Akbulut ja Rakicioglu 2012), voimaharjoittelun vaikutusta LAV:an (Swanepoel ym. 2013), aerobisen harjoittelun ja sen intensiteetin vaikutusta aineenvaihdunnallisiin tekijöihin (Botero ym. 2014), lihasvaurioiden vaikutusta LAV:aan (Burt ym. 2014) sekä nopean painonpudotuksen ja -nousun vaikutusta energiankulutukseen (Sagayama ym. 2014.)

Ravitsemuksen ja fyysisen aktiivisuuden yhteyttä LAV:aan tutkittiin 12 viikon ajan ylipainoisilla naisilla. Naiset tekivät muutoksia joko pelkästään ravitsemuksessa tai ravitsemuksessa ja harjoittelussa. Ravitsemuksella tähdättiin n. 0,5-1,0kg painonpudotukseen viikossa (ravintoainekoostumus 50-60% HH, 15-20% P, 25-30% R). Harjoitusohjelman

tarkempaa sisältöä ei kuvailtu tutkimuksessa. Painonpudotus yhdistetyllä ruokavaliolla ja harjoitusohjelmalla jopa kasvatti mitattua LAV ylipainoisilla naisilla, joskin kehonkoostumuksen perusteella arvioitu PAV laski, pelkkä ruokavaliomuutos sen sijaan johti kyllä painon putoamiseen, mutta samalla sekä PAV että LAV laskivat. (Akbulut ja Rakicioglu 2012.)

Voimaharjoittelun vaikutusta LAV:aan tutkittiin 12 viikon ajan 25-35 -vuotiailla naisilla. LAV arvioitiin epäsuorasti Bod Pod:lla mitatun kehonkoostumuksen perusteella. Harjoitteluohjelma oli kuntopiirityyppinen voimaharjoitteluohjelma, joka suoritettiin 3 kertaa viikossa, yksi harjoitus kesti 40-60 minuuttia, liikkeitä tehtiin 12 (laitteissa ja kehon painolla), yhtä liikettä kohden tehtiin 3 sarjaa, joissa 12-15 toistoa 15RM:llä. Naisten FM laski intervention aikana ja rasvaton massa (LBM) sekä LAV nousivat voimaharjoitteluintervention aikana. Tutkimuksessa tutkittiin selvästi ylipainoisempia värillisiä naisia (painoindeksi, BMI n. 34) sekä vähemmän ylipainoisia kaukaasialaisia naisia (BMI n. 25), molemmissa ryhmissä LAV nousi, mutta edellisessä enemmän (1361kcal/d -> 1425kcal/d, jälkimmäisessä 1278kcal/d -> 1289kcal/d), rasvaprosentissa ei havaittu merkittäviä muutoksia tutkimuksen aikana. (Swanepoel ym. 2013.)

Aerobisen harjoittelun intensiteetin vaikutusta mm. PAV:an tutkittiin vertailemalla kahden eri intensiteetin vaikutusta kehonkoostumuksellisiin, aineenvaihdunnallisiin sekä kuntotekijöihin. Tutkittavat olivat 27-42 -vuotiaita ylipainoisia, inaktiivisia naisia. Harjoituksena suoritettiin joko vaihtelevan kestoisen pyöräilyharjoitus alimmalla RQ tai hengityskaasukynnyksellä (Ventilatory Threshold, VT). Aerobisen harjoittelun intensiteetin vaikutuksia tutkittaessa sekä RQ- että VT-protokolla johtivat alentuneeseen kehonpainoon, BMI:n sekä parantuneeseen kuntoon ja alentuneeseen rasvaprosenttiin. Sen sijaan veren triglyseridiarvot laskivat vain RQ-protokollassa ja LBM säilyi paremmin RQ-protokollassa. (Botero ym. 2014.)

Harjoituksesta aiheutuneiden lihasvaurioiden vaikutusta juoksusuoritukseen sekä LAV:aan tutkittiin 80 terveellä miehellä. Miehet suorittivat 100 Smith-kyykkyä, jonka jälkeen heille suoritettiin 24h ja 48h jälkeen LAV-mittaus, 10 minuutin juoksusuoritus sekä puolen tunnin palautusjakso, jonka aikana mitattiin  $VO_2$ :ta. Voimaharjoittelu aiheutti subjektiivista lihasarkuutta sekä kasvanutta kreatiinikinaasipitoisuutta. Vastaavasti LAV nousi samaten kuin  $VO_2$  submaksimaalisessa juoksussa ja EPOC (excessive post-exercise oxygen consumption) suorituksen jälkeen. (Burt ym. 2014.)

Painoluokkaurheilijoiden nopean painonpudotuksen ja -noston vaikutusta mm. LAV:aan tutkittiin siten, että 10 painoluokkaurheilijaa pudottivat painoa 5 % seitsemässä päivässä, jonka jälkeen heidän oli tavoitteena nostaa paino takaisin lähtötasolle 12 tunnissa vapaalla ruokailulla. Perus- ja uniaineenvaihdunta mitattiin ESK:lla. Nopean painonpudotuksen vaikutusta PAV ei muuttunut painoluokkaurheilijoilla, sen sijaan uniaineenvaihdunta laski huomattavasti painonpudotuksen aikana, mutta nousi nopeasti jälleen painon noustua takaisin lähtötasolle. (Sagayama ym. 2014.)

### **3.3 Alhaisen energiansaannin riskit urheilijoilla**

Adaptiivista termogeneesiä on pääsääntöisesti tutkittu ylipainoisilla henkilöillä, jotka pyrkivät laihduttamaan. Tällöin alhainen energiansaanti on tarkoituksenmukaista, joskin sen mahdollisesti aiheuttama alentunut PAV:n taso ei ole toivottava seuraus. Eriolaisen ryhmän muodostavat kovaa harjoittelevat urheilijat, jotka eivät välttämättä saa ravinnostaan riittävästi energiaa. Painonpudotuksen ja harjoitusohjelman yhdistäminen mahdollisesti pienentää adaptiivisen termogeneesin vaikutusta, mutta pitkään jatkunut aliravitsemus voi näkyä urheilijoilla heikentyneenä palautumisena ja adaptaationa, terveytenä sekä suorituskykenä. (Akbulut ja Rakicioglu 2012.)

Wilson ym. (2015) tutkivat ammattikilparatsastajien LAV:n tasoa sekä kehonkoostumusta. Tutkimuksessaan he havaitsivat, että erityisesti mieskilparatsastajien LAV suhteutettuna rasvattomaan kehon massaan oli alentuneella tasolla. Lisäksi mieskilparatsastajilla luun



mineraali- ja vitamiinipitoisuus oli huomattavan alhainen ja WHO:n kriteerien mukaan heidät kategorisoitiin osteopenisiksi.

Energiansaannin niukkuus on myös yhteydessä naisurheilijoiden oireyhtymään, jossa naisen lisääntymiskyky sekä luunterveys ovat alentuneella tasolla. Energian saatavuus (ES) viittaa ruuasta saadun energian määrään sen jälkeen, kun siitä on vähennetty harjoittelun energiankulutus suhteutettuna rasvattoman massan painoon. Terveillä nuorilla naisilla on havaittu, että viiden päivän ajan alentunut ES ( $<30\text{kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$ ) on yhteydessä alentuneeseen verensokerin tasoon, alentuneeseen T3-tasoon, gonadotropiinia vapauttavan hormonin sekä luteinisoivan hormonin eritykseen ja kohonneeseen kortisolipitoisuuteen. (Melin ym. 2015.)

Naiskestävyysjuoksijat muodostavat riskiryhmän, sillä heillä on suurista harjoitusmääristä aiheutunut korkea energiankulutus, mutta toisaalta alhaisesta kehonpainosta on hyötyä suorituksen taloudellisuuden kannalta (Melin ym. 2015). Melin ym. (2015) havaitsivat, että huippunaiskestävyysjuoksijoilla alhainen ES oli yhteydessä alentuneeseen lepoenergiankulutukseen sekä madaltuneeseen luteinisoivan hormonin ja leptiniin tasoon sekä kuukautiskierron häiriöihin. ES:n perusteella luoduilla ryhmillä ei kuitenkaan havaittu ryhmien välisiä eroja T3:n, kortisolin tai glukoosin pitoisuuksissa.

#### 4 LEPOAINEENVAIHDUNTA, HORMONAALINEN TOIMINTA SEKÄ LUUSTON TERVEYS

Tutkimuksessa on tarkoitettu tarkastella ESK mitatun LAV:n ( $LAV_{ESK}$ ), hormonitoiminnan, kehonkoostumuksen sekä luuston terveyden välisiä yhteyksiä naispuolisilla kestävyysjuoksijoilla. Naisurheilijan oireyhtymässä yhdistyvät vähentynyt ES, kuukautiskierron häiriöt sekä alentunut luuston massa (Ackerman ja Misra 2011). Naisurheilijan oireyhtymä voidaan myös laajemmin mieltää kaikkia sukupuolia koskevaksi alhaisen ES:n oireyhtymäksi (Relative Energy Deficiency syndrome, RED-s). Alhaisen ES:n oireyhtymässä hormonaaliset muutokset yhdistyvät toisiinsa. Muutokset kehon koostumuksessa selittyvät osaltaan vähentyneellä aineenvaihdunnallisesti aktiivisen kudoksen määrän vähentymisellä, mutta rajoittunut ES on usein yhteydessä adaptiiviseen termogeneesiin, jossa kokonaisenergiankulutus alenee enemmän kuin pelkkä kehon painon muutos ennustaa (Trexler ym. 2014).

Tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota useisiin energia-aineenvaihduntaan, sukupuolitoimintaan sekä luuston aineenvaihduntaan liittyviin hormoneihin kuten kilpirauhashormonit, leptiini, ghreliini, kortisoli, insuliini, insuliinin kaltainen kasvutekijä-1 (IGF-1), sukupuolihormonit (estrogeeni, testosteroni), luteinisoiva hormoni, ynnä muut. (Trexler ym. 2014; Thong ym. 2000; Hilton ja Loucks 2000; Loucks ja Heath 1994a; Loucks ja Callister 1993; Ackerman ja Misra 2011; Loucks ja Heath 1994b; Loucks ja Thuma 2003, Reinehr ym. 2008; Swenne ym. 2009, De Souza ym. 2008.)

Kilpirauhashormonit säätelevät merkittävästi aineenvaihdunnan tasoa ja T3 nousee painon kasvaessa ja vastaavasti alenee painon laskiessa (Trexler ym. 2014). Syömishäiriöisillä (mm. *anorexia nervosa*, AN) on T3-tasoa ehdotettu hyväksi markeriksi ravitsemustasapainon seurannassa. Swenne ym. (2009) havaitsivat tutkimuksessaan, että nuorilla syömishäiriöisillä naisilla matalaa T3-konsentraatiota ennustivat parhaiten suuri painonpudotus sekä nopea painonpudotus. Vastaavasti T3-pitoisuus kasvoi hoidon yhteydessä painon kanssa, joskin se oli herkkä myös lyhyen jakson painotrendeille. T3-pitoisuuden hyödyiksi laskettiin myös se,

että nestetasapaino ja tulehdusvasteet eivät vaikuttaneet siihen, vaan energiatasapaino oli suurin yksittäinen tekijä. Tutkittaessa alhaisen ES:n ja hormonitoiminnan yhteyttä toisiinsa on T3-pitoisuuksia pidetty parempana mittarina kuin T4:sta tai kilpirauhasta stimuloivaa hormonia (Thyroid Stimulating Hormone, TSH) (Thong ym. 2000; Loucks ja Heath 1994b; Loucks ja Callister 1993)

Urheilevilla naisilla T3-pitoisuuden on huomattu vaihtelevan selvästi ES:en mukaan. Loucks ja Callister (1993) havaitsivat, että T3-pitoisuus liittyy ensisijaisesti ES:een, eikä harjoituksesta aiheutuva energiankulutus itsessään vaikuta T3-pitoisuuteen mikäli ES on riittävää. Alhaisen ES:n oireyhtymässä PAV ja T3-pitoisuus muodostavat mahdollisen tunnistus- ja tarkkailutyökalun. T3-pitoisuus korreloi hyvin painostatuksen sekä energiansaataavuuden kanssa. Matalan ES:n tilassa sekä painon alentuessa myös T3-pitoisuudet alenevat ja vastaavasti korkeassa ES:n tilassa nousevat. (Reinehr ym. 2008). De Souza ym. (2008) pyrkivät vielä tarkemmin erottelemaan energia- ja estrogeenitilan välisiä suhteita luuston aineenvaihduntaan sekä hormonitoimintaan harjoittelevilla naisilla ja havaitsivat, että kokonais-T3-pitoisuus oli alentunut (n. 29%) erityisesti silloin kun havaittiin sekä energia- että estrogeenivaje.

Rasvasoluissa muodostettava leptiini on toinen hormoni, joka indikoi lyhyen ja pitkän aikavälin ES:ta siten, että ES:n alentuessa myös leptiinin pitoisuus verenkierrossa alenee ja päinvastoin (Trexler ym. 2014). Täten onkin luontevaa, että leptiini ja T3 tasot korreloivat sekä poikittais- että pitkittäisanalyseissä (Reinehr ym. 2008; Thong ym. 2000). Hilton ja Loucks (2000) puolestaan havaitsivat, että leptiinin diurnaaliseseen rytmiin vaikuttaa ES, jolloin sekä harjoituskuormitus että energiansaanti on huomioitava. Matalan ES:n tilassa sekä 24 tunnin keskiarvopitoisuus että yksittäisten erityspulssien amplitudi väheni leptiinin osalta. Myös luteinisoiva hormoni käyttäytyy samankaltaisesti sillä erotuksella, että kuukautiskierron vaihe todennäköisesti vaikuttaa sen eritykseen ja se saattaa olla herkempi hiilihydraatinsaataavuudelle ES:n sijaan (Hilton ja Loucks, 2000).

Naisurheilijoilla matalan leptiinipitoisuuden on havaittu olevan yhteydessä kuukautiskierron häiriöihin vaikka sukupuolihormonit eivät suoraan säätele sen erityistä. Lisäksi leptiinipitoisuus korreloi T3- ja insuliinipitoisuuden välillä, mutta ei vastaavasti estrogeenin kanssa. Leptiinin arvellaan olevan aineenvaihdunnallinen signaali rasvakudoksen, ES:n ja lisääntymiskyvyn välillä. (Thong ym. 2000.) Leptiiniä eritetään suhteessa FM:aan, jolloin se toimii negatiivisena takaisinsäätelijänä kehonpainon homeostaasin säätelyssä (Thong ym. 2000.) Lisäksi leptiinin erityys vaikuttaa olevan yhteydessä kuukautiskierron. Normaali painoisilla naisilla veren leptiinipitoisuus nousee luteaalissa vaiheessa ilman muutoksia FM:n määrässä. Sen sijaan naiskestävyysurheilijoilla, joilla on paljon häiriöitä kuukautiskierrossa, on leptiinin faasinen käyttäytyminen epäselvempää (Thong ym. 2000.) De Souza ym. (2008) puolestaan totesivat leptiinin olevan todennäköisesti merkittävässä roolissa luun terveyden osalta sillä se oli merkitsevästi yhteydessä luuston aineenvaihduntaa kuvaaviin markkereihin.

Loucks ja Thuma (2003) havaitsivat eri hormonien käyttäytyvän eri mallien mukaan suhteessa ES:n. Luteinisoivan hormonin osalta alkaa häiriöitä esiintyä kun ES laskee alle 30kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä tasolle ja häiriöistä tulee merkittävämpiä kun ES laskee edelleen. Insuliini puolestaan käyttäytyy lineaarisesti suhteessa ES:en kun taas kortisolipitoisuus veressä käyttäytyy eksponentiaalisemmin kortisolitasojen noustessa enemmän kun ES vähenee. Kasvuhormoni ja IGF-1 vaikuttavat käyttäytyvän saman tyyppisesti, joskin käänteisesti siten, että ES:n laskiessa alle 30kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä käyttäytyvät kasvuhormoni ja IGF-1 lineaarisesti suhteessa ES:en, mutta ES:n laskiessa edelleen alle 20kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä tasolle alkaa ES:n vaikutus vähentyä. Leptiinin ja T3:n osalta ES:n laskiessa tasolle 30kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä vähenee niiden pitoisuus veressä ja pitoisuus vähenee edelleen ES:n alentuessa, joskin vaikuttaa siltä, että T3:n osalta ES:n vaikutus häviää välillä 10-20kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä. Leptiinin osalta vaikuttaa ES:n vaikutus vähenevän tällä välillä, joskin leptiinin pitoisuus vähenee edelleen ES:n laskiessa.

Naisurheilijan oireyhtymän riskitekijät vaikuttavat kasvavan merkittävästi kun ES laskee alle tason 30kcal/kg<sub>l<sub>bm</sub></sub>/päivä, jolloin samanaikaisesti havaitaan luun mineralisaatiotahdin

alentuminen sekä muutoksia IGF-1- ja T3-hormonipitoisuuksissa samoin kuin häiriöitä kuukautisrytmissä. Luun mineralisaatiotahdin aleneminen puolestaan heikentää luuston terveyttä, joka lisää mm. rasisurmuksien riskiä kestävyysjuoksijoilla. (Loucks ym. 2011).  $LAV_{ESK}$  on mahdollinen menetelmä naisurheilijan oireyhtymän tunnistamisessa sillä alentunut lepoenergiankulutus on yhteydessä naisurheilijan oireyhtymälle tyypillisille häiriöille hormonitoiminnassa (Souza ym. 2007).

ESK:lla voidaan määrittää alentunut LAV vertaamalla mitattua energiankulutusta laskennallisesti arvioituun energiankulutukseen (De Souza ym. 2008). Tällöin laskennallinen lepoaineenvaihdunta määritetään naisille Harris-Benedict -yhtälöllä (HB)  $LAV_{HB} = 655,0955 + (9,5634 * paino [kg]) + (1,8495 * pituus[cm]) - (4,6756 * ikä[vuosissa])$ . Mitattu lepoaineenvaihdunta ( $LAV_{ESK}$ ) puolestaan lasketaan Weir:n yhtälön avulla hapenkulutuksen ja hiilidioksidin tuoton perusteella seuraavasti:  $mitattu\ lepoenergiankulutus = (3,94 * [VO_2]) + 1,11 * [VCO_2]) * 1,44$ , jossa  $VO_2$  = mitattu hapenkulutus ja  $VCO_2$  = mitattu hiilidioksidintuotto.  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen avulla voidaan määrittää mahdollinen alentunut lepoenergiankulutus. (De Souza ym. 2007). Naisurheilijoiden oireyhtymää tutkittaessa alentuneen lepoenergiankulutuksen merkkinä on pidetty  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhdetta, joka on 0,90 tai vähemmän. Tällöin on havaittavissa myös tyypillisiä hormonaalisia oireita kuten alentunut T3- ja leptiinipitoisuus, varsinkin mikäli urheilijoilla on myös alentunut estrogeenipitoisuus. (De Souza ym. 2008).

## 5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

1. Onko hengityskaasuanalysoitsijan (Oxycon Mobile) avulla määritetty LAV -arvo toistettava?

**Hypoteesi:** Kyllä

**Perustelu:** Toistettavuutta mitataan tutkimuksessa Pearsonin korrelaatiokertoimen, ICC:n sekä hengityskaasumuuttujien variaatiokertoimien avulla. Hyvin vakioituissa mittaustilanteissa hengityskaasuanalysoitsijan avulla suoritettujen mittauksen tulokset ovat olleet toistettavia ja vaihtelu mittaustuloksissa on ollut 4-6 % luokkaa (Compher ym. 2006). Toisaalta kun hengityskuvun sijasta on käytetty nenän ja suun peittävää maskia on vaihtelu mittaustuloksissa ollut 7,3 % tasolla verrattuna 5,2 % vaihteluun hengityskuvulla (Roffey ym. 2006). Aiemmin  $LAV_{ESK}$  mittauksissa on havaittu hyvin korkea ICC välillä 0,97-0,99 (Ashley ym. 2001).

2. Vastaako hengityskaasuanalysoitsijan avulla määritetty LAV laskennallista LAV:n arvoa?

**Hypoteesi:** Kyllä

**Perustelu:** Cunninghamin ja HB- yhtälö ennustavat parhaiten  $LAV_{ESK}$ :ta fyysisesti aktiivisilla henkilöillä (Thompson ja Manore 1996). Nuorilla naisilla Cunninghamin ja HB yhtälöt johtivat vain 37 kcal/päivä eroon laskennallisessa LAV:ssa ja ne ryhmittelivät koehenkilöt samaan järjestykseen (De Souza ym. 2008).

3. Onko hengityskaasuanalysoitsijalla (Oxycon Mobile) määritetty LAV riittävän tarkka tapa määrittää urheilijoille alentunut LAV.

**Hypoteesi:** Kyllä

**Perustelu:** Aikaisempien tutkimustulosten perusteella alentunut LAV on havaittavissa ESK:n avulla ja se on yhteydessä naisurheilijan oireyhtymään (De Souza ym. 2008; Melin ym. 2016). Naispuolisille urheilijoille alentunut LAV on määritetty ESK avulla määritetyn  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen perusteella, jolloin  $LAV_{ESK}$  ollessa 90% tai alle  $LAV_{HB}$ :sta on henkilö mitattava luokiteltu alentuneen LAV:n ryhmään (De Souza ym. 2008). Myös rasvattomaan painoon suhteutettua aineenvaihdunnan tasoa ( $\text{kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$ ) on hyödynnetty alentuneen LAV:n määrittelyssä. Tällöin alhainen ES ( $<45\text{kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$ ) verrattuna normaaliin ES:en johti alentuneeseen rasvattomaan massa suhteutettuun LAV:aan ( $28,4\text{kcal} \pm 2,0 \text{ kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$  vs.  $30,5 \pm 2,2 \text{ kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$ ,  $p < 0,01$ ). Ero ryhmien välisessä LAV:ssa oli samaa luokkaa myös silloin kun heidät kategorisoitiin kuukautiskierron häiriöisiin ja normaalin kuukautiskierron ryhmiin ( $28,6 \pm 2,4 \text{ kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$  vs.  $30,2 \pm 1,8 \text{ kcal/kg}_{\text{lbm}}/\text{päivä}$ ,  $p < 0,05$ ). (Melin ym. 2015). Aikaisempien tutkimustulosten perusteella hengityskaasuanalysaattorin avulla määritetyssä LAV:ssa tulisi havaita 6-8% poikkeama, jotta muutos ylittää menetelmän mittavirheen tarkkuuden (Roffey ym. 2006).  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteessa merkittäväksi poikkeamaksi on määritelty 10% poikkeama, jonka pitäisi olla siis havaittavissa ESK:lla. Rasvattomaan kehonpainoon suhteutetun LAV:n avulla määritetyn alentuneen energia-aineenvaihdunnan poikkeama puolestaan on ollut 5-7 % luokkaa, jolloin se saattaa jäädä menetelmän mittavirheen sisälle. Tällöin naisurheilijan oireyhtymä on kuitenkin diagnosoitu muilla menetelmillä.

4. Korreloiko kehonpainoon suhteutettu LAV positiivisesti T3-pitoisuuden kanssa?

**Hypoteesi:** Kyllä

**Perustelu:** Sekä LAV:n että T3-pitoisuuksien on tutkimuksissa havaittu alentuvan alhaisen ES:en myötä (Loucks ja Callister 1993; Reinehr ym. 2008). Kilpirauhashormonit ovat merkittäviä aineenvaihdunnan tason säätelijöitä (Trexler ym. 2014), joten on

oletettavaa, että ne korreloivat LAV:n kanssa. Nuorilla syömishäiriöisillä naisilla T3-pitoisuus on havaittu hyväksi energiatasapainon markeriksi (Swenne ym. 2009).

5. Onko  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen perusteella määritetyllä alentuneella LAV:lla yhteyksiä naisurheilijan oireyhtymälle tyypillisille hormonaalisille muutoksille?

**Hypoteesi:** Kyllä

**Perustelu:** ES:n on havaittu naisilla vaikuttavan hormonaaliseen toimintaan siten, että insuliini-, estrogeeni- ja T3-pitoisuus laskevat ES:n alentuessa ja vastaavasti kortisolipitoisuus nousee ES:n alentuessa (Loucks ja Thuma 2003). Alhaisen ES:n on havaittu myös korreloivan alentuneen LAV:n kanssa (Melin ym. 2015).



## **6 TUTKIMUSMENETELMÄT**

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa arvioitiin ESK:n toistettavuutta LAV:n mittauksessa sekä vastaavuutta laskennallisen ja mitatun LAV:n arvojen välillä eri kehonkoostumukseen perustuvien laskennallisten arvojen kanssa. Toisessa osassa tutkitaan ESK:n avulla määritetyn LAV:n yhteyttä kehonkoostumukseen, luuntiheyteen sekä hormonaaliseen tasapainoon naiskestävyysjuoksijoilla. Ensimmäisen ja toisen osan mittaukset suoritettiin eri koehenkilöillä sekä eri laitteilla, joten menetelmät kuvaillaan molempien osalta erikseen. Tutkimus suoritettiin Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan ohjeiden mukaisesti. Tutkimuksen ensimmäisen osan mittaukset suoritettiin Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksella ja toisen osan mittaukset Jyväskylän yliopiston liikuntalaboratoriolla.

### **6.1 Koehenkilöt**

LAV:n toistettavuutta tutkittiin täysi-ikäisillä 20-35 -vuotiailla perusterveillä naisilla ja miehillä. LAV:n yhteyksiä kehonkoostumukseen, luuntiheyteen sekä hormonaaliseen tasapainoon tutkittiin 17-22 -vuotiailla naisilla, jotka olivat vähintään kansallisen tason kestävyysjuoksijoilla sekä samanikäisillä verrokeilla, jotka eivät kilpailleet kestävyysurheilussa.

### **6.2 Lepoaineenvaihdunnan toistettavuus**

#### **6.2.1 Lepoaineenvaihdunnan mittaus**

LAV:n mittauksen toistettavuutta sekä yhteyttä laskennallisiin arvoihin kestoja tutkitaan siten, että koehenkilöiltä mitataan kahtena eri päivänä, jotka ovat viikon sisällä toisistaan,  $VO_2$ :ta ja  $VCO_2$ :ta 30 minuutin ajan Oxycon Mobile -hengityskaasuanalysaattorin (Viasys Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa) avulla breath-by-breath -menetelmällä. Mittaustilanteen

vakioimiseksi mittaukset suoritetaan aamulla klo 7 ja 9 välillä 10 tunnin paaston jälkeen, lisäksi edellisen päivän fyysisen kuormituksen tulisi olla mahdollisimman kevyttä ja koehenkilöiden tulisi saapua mahdollisimman passiivisesti paikalle aamulla hyvien yöunien jälkeen. Koehenkilöt ohjeistettiin makaamaan paikoillaan mahdollisimman levollisesti puolen tunnin ajan mukavassa vaatetuksessa, huoneen valaistusta hämärytettiin ja tarvittaessa koehenkilöt saivat kevyen viltin päällensä. Mittaukset suoritettiin huoneen lämmössä. Hengityskaasujen keräystä varten koehenkilöille puettiin maski naaman päälle siten, että nenä ja suu peittyivät eikä maskista vuotanut ilmaa. Hengityskaasuanalysaattori kalibroitiin ennen jokaista mittausta suorittamalla virtausmittarin tilavuuden kalibrointi sekä hengityskaasujen happi- ja hiilidioksidipitoisuuden kalibrointi siten, että laitteet kalibroitiin vähintään kahdesti ennen jokaista mittausta ja kalibrointien välinen ero sai olla korkeintaan 1% hapen-, hiilidioksidin sekä virtaustilavuuden osalta.

ESK hyvin vakioituissa olosuhteissa on havaittu toistettavaksi tavaksi määrittää LAV (Compher ym. 2006). Kun mittauksessa käytetään nenän ja suun peittävää maskia on ESK:n toistettavuus hyvää luokkaa, mittausten välisten kertojen variaation ollessa 7,2% (Roffey ym. 2006). Toisen sukupolven kannettavat hengityskaasuanalysaattorit (Oxycon mobile) on todettu päteviksi aineenvaihdunnan arvioinnissa hengityskaasuanalyysin perustuen, joskin menetelmä on altis yliarvioimaan  $VCO_2$ :ta ja täten RQ-arvoa. Matalilla energiankulutuksen tasoilla (50 W polkupyöräergometrityö) kannettava hengityskaasuanalysaattori yliarvioi  $VO_2$ :ta  $2,6 \pm 3,7\%$  verrattuna Douglas-Bag menetelmään,  $VCO_2$  yliarvioitiin puolestaan  $5,3 \pm 7,7\%$ , RQ-arvo  $2,5 \pm 5,1\%$  ja minuuttiventilaatio  $5,6 \pm 15,4\%$ . (Rosdahl ym. 2010).

Hapenkulutuksen ja hiilidioksidintuoton perusteella laskettiin energiankulutus Weir:n yhtälöllä (Weir 1949): *mitattu lepoenergiankulutus* =  $(3,94 * [VO_2]) + 1,11 * [VCO_2] ) * 1,44$ , jossa  $VO_2$  = mitattu hapenkulutus ja  $VCO_2$  = mitattu hiilidioksidintuotto.

## **6.2.2 Kehonkoostumuksen määrittäminen**

Toistettavuusmittausten yhdessä koehenkilöiden kehonpaino sekä -koostumus määritettiin InBody720-laitteella (InBody Co, Ltd, Seoul, Korea), jolla määritettiin kehonkoostumus perustuen multifrekvenssiseen bioimpedanssiin, jonka perusteella voidaan arvioida koehenkilön kehonkoostumuksen jakautuminen LBM:an sekä FM:an. Tällöin mittauksissa saatua PAV:n arvoa voidaan verrata eri yhtälöillä saataviin PAV:n arvoihin. Nämä yhtälöt arvioivat PAV:n tasoa sukupuolen, iän, pituuden painon sekä kehon koostumuksen avulla. Hapenkulutuksen lepokeruumittauksen aikana koehenkilöiltä mitattiin lisäksi sykettä sykemittarin avulla, jota käytettiin tukena koehenkilön lepotilan arvioinnissa. Multifrekvenssinen bioimpedanssi on arvioitu hyväksi tavaksi määrittää koko kehon FM ja LBM. Menetelmän korrelaatio vedenalaisupotuksen kanssa on 0,91 ja DXA:an kanssa 0,91. (Salmi 2003). InBody-mittaukset suoritettiin alle viikon sisällä toisistaan, jolloin koehenkilöiden kehonkoostumuksessa ei oletettavasti tapahtunut suuria muutoksia, joten päivittäisvaihtelun vähentämiseksi kehonkoostumus arvioitiin kahden mittauskerran keskiarvona.

Kehonpaino määritettiin 0,1kg:n tarkkuudella. Koehenkilöt punnittiin InBody 720:lla kevyessä alusvaatekerrastossa ja heidän painostaan vähennettiin silmämääräisesti arvioitu vaatetuksen paino. Pituus mitattiin 0,01m tarkkuudella mittanauhalla siten, että koehenkilöt seisoivat kantapäät yhdessä selkää vastaan.

## **6.3 Lepoaineenvaihdunnan yhteys naisurheilijan oireyhtymään nuorilla kestävyysjuoksijoilla**

Kestävyysjuoksijanaisten sekä heidän verrokeiden LAV määritetään MasterScreen CPX -hengityskaasuanalysaattorilla (Jaeger, CareFusion Germany 234 GmbH, Hoechberg, Saksa) saman protokollan mukaisesti kuin mitä käytettiin LAV:n toistettavuuden määrittämisessä.

### **6.3.1. KEHONKOOSTUMUKSEN MÄÄRITTÄMINEN**

Koehenkilöiden kehonkoostumus sekä luuston mineraalitiheys (bone mineral density, BMD) määritettiin kaksiennergisellä röntgensäteilyllä (Dual-energy X-ray Absorptiometry, DXA) Lunar Prodigy DXA-laitteella (GE Lunar Prodigy Advance Madison, WI, Yhdysvallat). Lunar Prodigy:lla suoritettujen kehonkoostumusmittauksen variaatiokerroimeksi on arvioitu neljänä peräkkäisenä päivänä suoritetuissa mittauksilla 1,11, 1,10 ja 0,62% vastaavasti FM, LBM sekä BMD:n osalta (Kiebzak ym. 2000). Mittaukset suoritettiin aamulla klo 6:30-9:00 välisenä aikana yön yli jatkuneen paaston jälkeen. Ennen aamun ensimmäistä mittausta laite kalibroitiin valmistajan ohjeiden mukaisesti esineellä, jonka tilavuus ja tiheys tunnettiin. Mittausta varten koehenkilöt asettuivat makaamaan DXA-laitteen alle kevyessä alusvaatetuksessa, jonka jälkeen tarkastettiin, että he ovat mittausalueen sisällä. Tämän jälkeen heidän selkäranksa oikaistiin vetämällä nilkoista kevyesti, jonka jälkeen heidän jalkateriin kiinnitettiin styroksilevy asennon vakioimiseksi. Lopuksi koehenkilöille annettiin pieniä tyynyjä kainalopohjiin sekä kämmeniin käsien asennon vakioimiseksi.

### **6.3.3. Hormonipitoisuuksien määrittäminen**

Koehenkilöiltä mitattiin paastotilassa välillä 7:00-9:00 seerumin hormonipitoisuus T3, estradiolin ( $E_2$ ), IGF-1:n ja kortisolin osalta. Mittaukset suoritettiin kemiluminometriseen immunologiseen analyysimenetelmään perustuvalla Siemens Immulite 2000 XPi –analyysaattorilla (Siemens Healthcare Llanberis, Yhdistyneet Kuningaskunnat). Menetelmän herkkyys ja variaatiokerroin ovat 1,5 pmol/l ja 7,3% T3 osalta, 55pmol/l ja 13,5%  $E_2$ :n osalta, 0,26 nmol/l ja 7,8% IGF-1 osalta, 5,5 nmol/l ja 8,3% kortisolin osalta sekä 2 mIU/l ja 5,6% insuliinin osalta (Puurtinen 2016).

Koehenkilöiltä otettiin kyynärlaskimosta 5ml laskimoverinäyte VACUETTE-geeliseerumiputkeen (Greiner-Bio-One GmbH, Kremsmünster, Itävalta), jonka jälkeen näyte

sentrifugoitiin 3600 rpm 10 minuutin ajan Magafuge 1.0 R –sentrifugilla. Tämän jälkeen näytteet pakastettiin -20 °C säilytykseen ennen analysointia.

#### 6.4 Tilastolliset menetelmät

Ennen varsinaista tilastollista analyysia LAV-mittausten data käsiteltiin Microsoft Excel 2013 –ohjelmalla. LAV määritettiin mittauksen viimeisen viiden ja kymmenen minuutin keskiarvona, lisäksi  $VO_2$ -,  $VCO_2$ - ja RQ-arvojen osalta laskettiin viimeisen viiden ja kymmenen minuutin keskiarvo sekä  $VO_2$ - ja  $VCO_2$ -arvojen osalta laskettiin viimeisen viiden ja kymmenen minuutin ajalta variaatiokerroin. Tilastollinen analysointi suoritettiin IBM SPSS Statistics 24 -ohjelmalla. Aineiston normaalijakautuneisuus todettiin Shapiro-Wilkin normaalisuustestin avulla sekä tarkistamalla huipukkuus ja vinous sekä koko ryhmien osalta että jatkokäsittelyssä määritettyjen alaryhmien osalta. Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerroimen avulla tarkasteltiin hengityskaasuarvoja LAV-menetelmän toistettavuutta tutkittaessa sekä arvioitaessa  $LAV_{ESK}$  yhteyttä antropometristen muuttujien avulla määritettyihin  $LAV_{HB}$  ja Cunninghamin yhtälön arvoihin. ICC-arvoja hyödynnettiin tarkasteltaessa peräkkäisten  $LAV_{ESK}$  mittausten toistettavuutta. ICC-arvojen laskemisessa ja tulkinnassa hyödynnettiin Koo ja Li (2016) ohjeita testimenetelmän toistettavuuden arviointiin, jolloin mallina oli ”two-way mixed effects” ja tyyppinä ”single measurement” ja määritelmänä ”absolute agreement”. Tulkinnassa ICC-arvojen rajat asetettiin siten, että  $< 0,5$  kuvastaa huonoa toistettavuutta,  $0,5-0,75$  kohtalaista toistettavuutta,  $0,75-0,90$  hyvää toistettavuutta ja  $> 0,90$  erinomaista toistettavuutta (Koo ja Li 2016). Lisäksi Pearsonin tulomomenttikorrelaatiokerrointa hyödynnettiin tarkasteltaessa  $LAV_{ESK}$  yhteyttä antropometriin ja hormonaalisiin muuttujiin juoksijoilla ja heidän verrokkeillaan. Riippumattomien otosten t-testiä hyödynnettiin vertailtaessa eroja juoksijoiden ja verrokkien osalta. Tilastollisia merkittävyyksiä tutkittaessa käytettiin 95%:n luottamusväliä, jolloin  $p < 0,05$  pidettiin tilastollisen merkitsevyyden rajana ja  $p < 0,01$  tilastollisesti erittäin merkitsevän tuloksen rajana.

Tutkittaessa LAV-menetelmän toistettavuutta ja pätevyyttä aineisto analysoitiin sekä koko ryhmän osalta että sukupuolittain. Hormonaalisten ja antropometristen tekijöiden yhteyksiä  $LAV_{ESK}$ -arvoihin analysoitiin aineisto koko ryhmän osalta ja juoksijoiden ja verrokkien osalta. Lisäksi aineisto jaettiin  $LAV_{ESK}:LAV_{HB}$  suhdetta hyödyntäen normaalin ja alentuneen LAV:n ryhmiin, jolloin raja-arvona toimi 0,90. Tällä erottelulla aineistossa oli vain kaksi koehenkilöä, joiden osalta alentuneen LAV:n kriteeri täyttyi, joten heidän tulokset esitetään, mutta niille ei suoritettua tilastollista analyysiä.

## 7 TULOKSET

### 7.1. Lepoaineenvaihdunnan mittauksen toistettavuus ja pätevyys

Koehenkilöt olivat nuoria ja terveitä aikuisia. Tarkemmin heidän tiedot on esitelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden antropometriset tiedot

	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg) 1. mittauskerta	Paino (kg) 2. mittauskerta	LBM (kg)	FM (kg)	Rasva- prosentti (%)
Kaikki (n = 11)	24 ± 3	171 ± 11	69,6 ± 14,8	69,6 ± 14,5	59,6 ± 17,1	12,7 ± 3,1	18,7 ± 5,3
Miehet (n = 5)	26 ± 4	178 ± 11	81,7 ± 13,7	81,4 ± 13,2	74,7 ± 13,8	12,7 ± 4,0	15,8 ± 5,6
Naiset (n = 6)	23 ± 1	164 ± 5	59,6 ± 4,7	59,6 ± 4,8	47,0 ± 4,2	12,7 ± 2,7	21,2 ± 3,9

LBM, rasvaton massa; FM, rasvamassa.

Keskimäärin lepoahpenkulutus oli 3,75 ml/min/kg sekä hyödynnettäessä viimeisen viiden että kymmenen minuutin keskiarvoa. RQ-arvo sijoittui välille 0,7-1,0 sen ollessa keskiarvoisesti  $0,80 \pm 0,03$  kahden mittauksen keskiarvona sekä viimeisen viiden että kymmenen minuutin osalta. Variaatiokertoimia tarkasteltaessa olivat  $vkVO_2$  sekä  $vkVCO_2$  keskimäärin hyväksyttävän LAV-mittauksen rajoissa (<10%) sekä viimeisen viiden että kymmenen minuutin osalta. (Taulukko 2.)

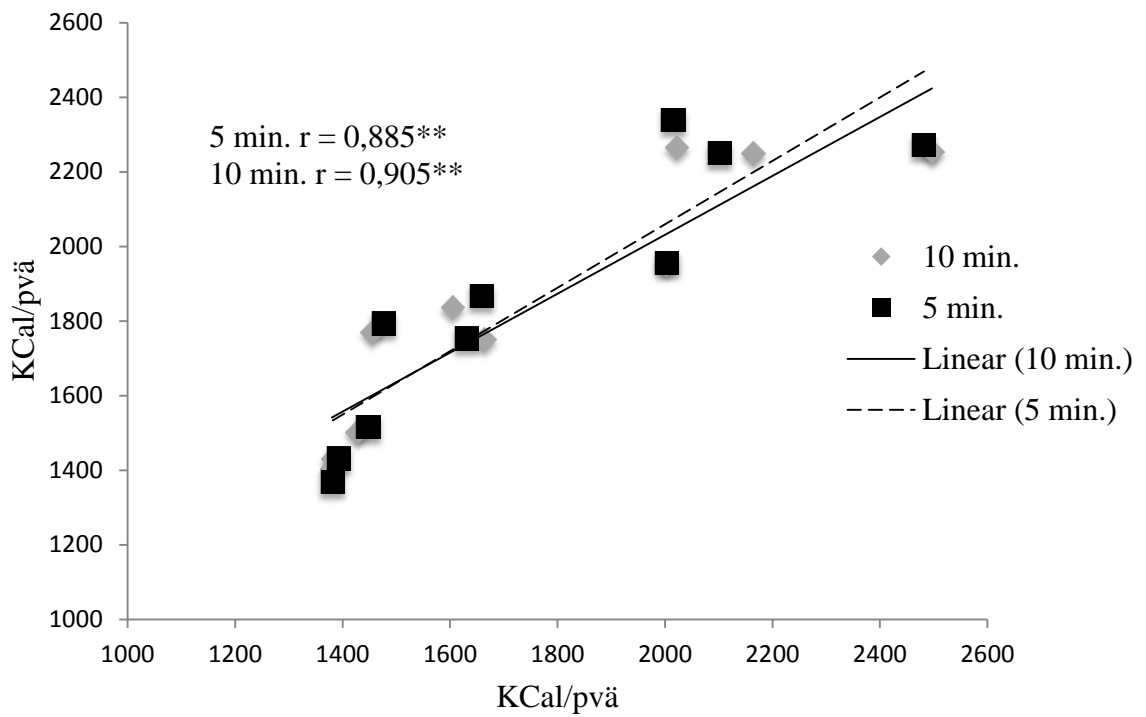
## TAULUKKO 2. Hengityskaasumuuttajat

Hengityskaasumuuttaja	VO <sub>2</sub> (L/min)		VCO <sub>2</sub> (L/min)		VO <sub>2</sub> kg (ml/min/kg)		RQ		vkVO <sub>2</sub> (%)		vkVCO <sub>2</sub> (%)	
	5'	10'	5'	10'	5'	10'	5'	10'	5'	10'	5'	10'
1. Mittaus	0,254 ± 0,051	0,255 ± 0,053	0,202 ± 0,042	0,202 ± 0,043	3,67 ± 0,24	3,67 ± 0,27	0,79 ± 0,04	0,79 ± 0,04	5,3 ± 2,6	5,9 ± 2,5	6,4 ± 2,9	6,7 ± 2,7
2. Mittaus	0,265 ± 0,048	0,265 ± 0,046	0,213 ± 0,040	0,211 ± 0,038	3,84 ± 0,46	3,83 ± 0,42	0,81 ± 0,04	0,80 ± 0,04	7,4 ± 3,3	7,6 ± 5,0	8,0 ± 3,2	8,3 ± 4,3
Keskiarvo	0,260 ± 0,048	0,259 ± 0,049	0,208 ± 0,039	0,207 ± 0,039	3,75 ± 0,33	3,75 ± 0,32	0,80 ± 0,03	0,80 ± 0,03	6,3 ± 1,8	6,7 ± 2,5	7,2 ± 2,5	7,5 ± 2,3

VO<sub>2</sub>, absoluuttinen hapenkulutus; VCO<sub>2</sub>, hiilidioksidintuotto; VO<sub>2</sub>kg, kehonpainoon suhteutettu hapenkulutus; RQ, hengitysosamäärä; vkVO<sub>2</sub>, hapenkulutuksen variaatiokerroin, vkVCO<sub>2</sub>, hiilidioksidintuoton variaatiokerroin.

Ensimmäisen ja toisen mittauskerran välinen erotus oli  $144 \pm 108$  kcal/pvä viimeisen viiden minuutin osalta ja  $135 \pm 101$  kcal/pvä viimeisen kymmenen minuutin osalta. Verrattuna kahden mittauksen keskiarvoon olivat erotukset siis  $8,0 \pm 6,0$  % ja  $7,5 \pm 5,6$  % (taulukko 3). LAV<sub>ESK</sub> tulokset korreloivat vahvasti ja tilastollisesti erittäin merkitsevästi ( $p < 0,01$ ) ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä sekä analysoitaessa viimeisen viiden ( $r = 0,885$ ) että viimeisen kymmenen minuutin ( $r = 0,905$ ) keskiarvoa (kuva 1). Kuten kuvan 2. perusteella voidaan havaita, oli koehenkilöiden välillä suurta eroa siinä kuinka paljon ensimmäisen ja toisen mittauskerran LAV<sub>ESK</sub> arvot erosivat toisistaan.



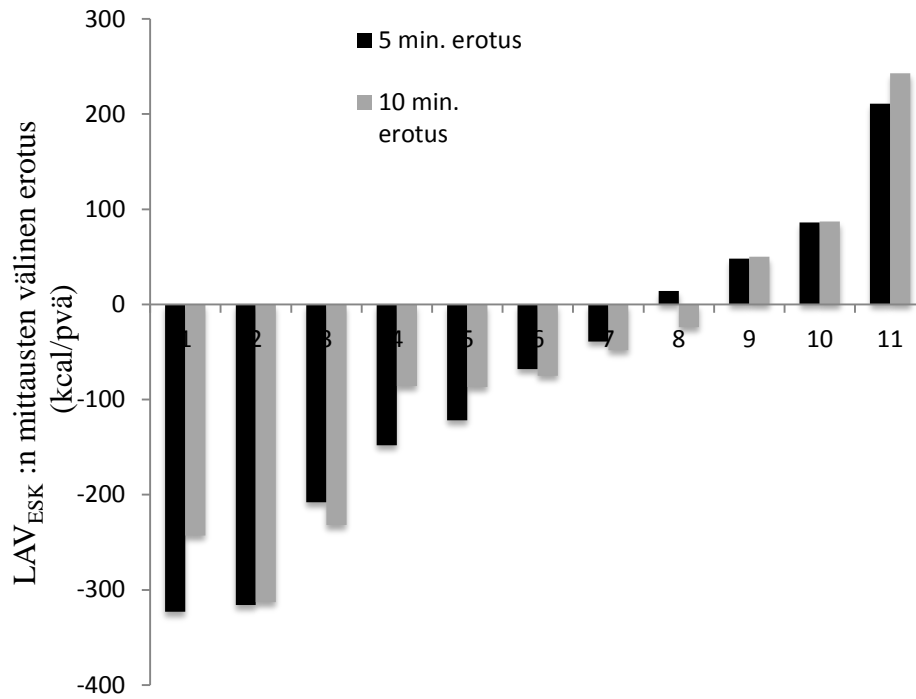


KUVA 1. LAV<sub>ESK</sub> korrelaatio ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä.  $r$ , Pearsonin tulomomenttikerroin.  $** p < 0,01$ .

TAULUKKO 3. Lepoaineenvaihdunnan arviointi epäsuoralla kalorimetrialla sekä kehonkoostumukseen perustuen

LAV-menetelmä	$LAV_{ESK}$	HB (kcal/pvä)	Cunningham (kcal/pvä)	$LAV_{lbm}$ (kcal/kg <sub>lbm</sub> /pvä)	$LAV_{ESK}/LAV_{HB}$
Tarkastelu-aika (min.)	5 min.	10 min.	-	-	-
1. Mittaus	1763 ± 353	1766 ± 369	1643 ± 290	-	1,07 ± 0,06
2. Mittaus	1842 ± 337	1832 ± 321	1642 ± 286	-	1,13 ± 0,12
Erotus mittaus- kertojen välillä	144 ± 108	135 ± 101			
Keskiarvo	1803 ± 335	1799 ± 336	1643 ± 288	1811 ± 377	30,3 ± 3,9 1,10 ± 0,08

LAV, lepoaineenvaihdunta; ESK, epäsuora kalorimetria; HB, Harris-Benedictin yhtälö;  $LAV_{lbm}$ , kehonpainoon suhteutettu lepoaineenvaihdunta,  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$ , epäsuoran kalorimetrian ja Harris-Benedictin yhtälön avulla määritettyjen lepoaineenvaihdunnan arvojen välinen suhde.



KUVA 2. Mittausten välinen erotus  $LAV_{ESK}$ :n suhteen koehenkilöittäin esitettynä viimeisen viiden ja kymmenen minuutin arvojen keskiarvona.  $LAV_{ESK}$ , epäsuoran kalorimetrian avulla määritetty lepoaineenvaihdunta.

ICC-arvojen perusteella sekä viimeisen 5 että 10 minuutin  $LAV_{ESK}$  ovat hyvin toistettavia yksilöiden välillä (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Peräkkäisten  $LAV_{ESK}$  mittausten sisäkorrelaatiokerroin (ICC) viimeisen viiden ja kymmenen minuutin keruuajalta.

	n	ICC	Alaraja	Yläraja	F-testi	p-arvo
$LAV_{ESK}$ (5 min.)	11	0,870	0,596	0,963	16,221	<0,001
$LAV_{ESK}$ (10 min.)	11	0,886	0,644	0,968	17,728	<0,001

ICC, sisäkorrelaatiokerroin;  $LAV_{ESK}$ , epäsuoran kalorimetrian avulla määritetty lepoaineenvaihdunta.

Sukupuolittain tarkasteltuna ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita  $LAV_{ESK}$  ja  $LAV_{HB}$  tai Cunninghamin yhtälön avulla määritetyn LAV:n välillä. Sen sijaan koko ryhmän tasolla  $LAV_{ESK}$  korreloi tilastollisesti erittäin merkitsevästi ja vahvasti molempien laskennallisten menetelmien välillä siten, että korrelaatio  $LAV_{ESK}$ :n ja  $LAV_{HB}$ :n välillä oli voimakkaampi kuin korrelaatio  $LAV_{ESK}$ :n ja Cunnighamin menetelmän välillä. (Taulukko 5.)

TAULUKKO 5. Lepoaineenvaihdunnan arviointimenetelmien vertailu sukupuolittain

LAV-menetelmä	LAV <sub>ESK</sub> (kcal/pvä)	HB (kcal/pvä)	Cunningham (kcal/pvä)	LAV <sub>lbm</sub> (kcal/kg <sub>lbm</sub> /pvä)	LAV <sub>ESK</sub> /LAV <sub>HB</sub>
Miehet (n = 5)	2097 ± 227	1906 ± 211	2143 ± 304	28,3 ± 4,1	1,10 ± 0,08
r <sup>a</sup>	-	,834	,710	-	-
Naiset (n = 6)	1550 ± 149	1423 ± 53	1534 ± 91	32,0 ± 3,0	1,10 ± 0,09
r <sup>a</sup>	-	,492	,313	-	-
Kaikki (n = 11)	1799 ± 336	1643 ± 288	1811 ± 377	30,3 ± 3,90	1,10 ± 0,08
r <sup>a</sup>	-	0,929**	0,887**	-	-

<sup>a</sup> r = Pearsonin korrelaatiokerroin epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn ja laskennallisen lepoaineenvaihdunnan arvion kanssa. \* p < 0,05; \*\* p < 0,01 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ESK ja laskennallisen menetelmän välillä. LAV, lepoaineenvaihdunta; ESK, epäsuora kalorimetria; HB, Harris-Benedictin yhtälö; LAV<sub>lbm</sub>, kehonpainoon suhteutettu lepoaineenvaihdunta, LAV<sub>ESK</sub>/LAV<sub>HB</sub>, epäsuoran kalorimetrian ja Harris-Benedictin yhtälön avulla määritettyjen lepoaineenvaihdunnan arvojen välinen suhde.

## 7.2. Lepoaineenvaihdunta, kehonkoostumus ja hormonaalinen toiminta naiskestävyysurheilijoilla

Juoksijoiden ja verrokkien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa iän, pituuden tai rasvattoman massan suhteen. Sen sijaan juoksijoilla oli tilastollisesti merkittävästi alhaisempi kehon paino ja BMI sekä tilastollisesti erittäin merkittävästi alhaisempi kehon FM (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Juoksijoiden ja verrokkien antropometriset muuttujat

	Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	LBM (kg)	FM(kg)
Juoksijat (n = 10)	20 ± 2	167 ± 8	54,0 ± 8,3	19,4 ± 2,0	46,5 ± 5,2	8,0 ± 3,8
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	21 ± 1	170 ± 6	63,0 ± 5,6*	21,4 ± 2,0*	48,0 ± 4,9	15,8 ± 3,7**

<sup>a</sup> Juoksijoiden ja verrokkien väliset erot testattu riippumattomien otosten t-testillä.

\* p-arvo < 0,05; \*\* p-arvo < 0,01. BMI, painoindeksi. LBM, rasvaton massa; FM, rasvamassa.

Vertailtaessa juoksijoiden ja verrokkien hormonipitoisuuksia ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä seerumin kortisolin, IGF-1:n tai E<sub>2</sub>:n osalta, joskin IGF-1:n osalta ero oli lähellä tilastollista merkitsevyyttä (p-arvo = 0,057). Sen sijaan T<sub>3</sub>:n sekä insuliinin osalta havaittiin juoksijoilla tilastollisesti merkittävästi alhaisempia seerumin hormonipitoisuuksia (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Juoksijoiden ja verrokkien hormonaaliset muuttujat (T3, kortisoli, IGF-1, E<sub>2</sub>, insuliini)

	T3 (pmol/l)	Kortisoli (nmol/l)	IGF-1 (nmol/l)	E <sub>2</sub> (nmol/l)	Insuliini (mIU/l)
Juoksijat (n = 10)	3,89 ± 0,91	495 ± 95	35,4 ± 11,3	181 ± 100	2,6 ± 1,5
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	4,91 ± 0,94*	518 ± 158	46,4 ± 12,2	134 ± 78	6,3 ± 4,0*

<sup>a</sup> Juoksijoiden ja verrokkien väliset erot testattu riippumattomien otosten t-testillä.

\* p-arvo <0,05. T3, vapaa trijodityroniini; IGF-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä; E<sub>2</sub>, estradioli.

LAV:aa arvioivissa muuttujissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa juoksijoiden ja verrokkien välillä LAV<sub>ESK</sub>:n suhteen, LAV<sub>lbm</sub>:n suhteen, Cunninghamin yhtälöllä lasketun LAV:n suhteen taikka LAV<sub>ESK</sub>/LAV<sub>HB</sub> -suhteessa. Sen sijaan verrokeilla oli tilastollisesti merkittävästi suurempi LAV<sub>HB</sub> (p-arvo < 0,05). (Taulukko 8).

TAULUKKO 8. Juoksijoiden ja verrokkien mitattu sekä laskennallinen LAV.

	LAV <sub>ESK</sub> (kcal/pvä)	LAV <sub>lbm</sub> (kcal/kg <sub>lbm</sub> /pvä)	Cunningham (kcal/pvä)	HB (kcal/pvä)	LAV <sub>ESK</sub> /LAV <sub>HB</sub> (%)
Juoksijat (n = 10)	1430 ± 278	30,6 ± 3,4	1523 ± 114	1388 ± 92	102 ± 13
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	1475 ± 130	31,0 ± 3,8	1556 ± 107	1472 ± 58*	100 ± 7

<sup>a</sup> Ryhmien väliset erot testattu riippumattomien otosten t-testillä. \* p-arvo <0,05. LAV, lepoaineenvaihdunta; ESK, epäsuora kalorimetria; HB, Harris-Benedictin yhtälö; LAV<sub>lbm</sub>, kehonpainoon suhteutettu lepoaineenvaihdunta, LAV<sub>ESK</sub>/LAV<sub>HB</sub>, epäsuoran kalorimetrian ja Harris-Benedictin yhtälön avulla määritettyjen lepoaineenvaihdunnan arvojen välinen suhde.

Vertailtaessa kaikkien koehenkilöiden sekä juoksijoiden ja verrokkien Pearsonin korrelaatiokertoimia LAV<sub>ESK</sub>:n sekä antropometrinen muuttujien (paino, BMI, LBM, FM) välillä havaittiin, että koko ryhmän osalta vallitsi voimakas ja tilastollisesti erittäin merkitsevä positiivine korrelaatio ESK:n ja painon välillä, BMI:n ja ESK:n välillä vallitsi kohtalainen ja tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio. Sekä LBM että FM korreloivat koko ryhmän osalta tilastollisesti merkitsevästi sekä kohtalaisesti ESK:n kanssa. Sen sijaan, kun vertailut suoritettiin ryhmittäin, havaittiin, että juoksijoilla kaikki neljä muuttujaa (Paino, BMI, LBM, FM) korreloivat voimakkaasti ESK:n kanssa, painon, LBM:n ja FM:n korrelaatio oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ja BMI:n korrelaatio tilastollisesti merkitsevä. Toisaalta verrokkien osalta mikään muuttujista ei ylittänyt tilastollisen merkitsevyyden rajaa. (Taulukko 9).



TAULUKKO 9. Epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn LAV:n korrelaatio antropometriin tekijöihin kaikilla koehenkilöillä sekä ryhmittäin

	Paino (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	LBM (kg)	FM (kg)
Juoksijat <sup>a</sup> (n = 10)	0,911**	0,708*	0,858**	0,830**
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	0,583	0,554	0,081	0,525
Kaikki <sup>a</sup> (n = 19)	0,748**	0,597**	0,611*	0,556*

<sup>a</sup> Muuttujien väliset yhteydet testattu Pearsonin korrelaatiokertoimella. \* p-arvo < 0,05; \*\* p-arvo < 0,01. BMI, painoindeksi.

ESK:n avulla määritetyn LAV:n ja hormonaalisten muuttujien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä korrelaatiota minkään muuttujan osalta millään ryhmällä. Lähimpänä tilastollista merkitsevyyttä oli juoksijoilla LAV:n ja T3:n välillä ( $r = 0,599$ ,  $p = 0,068$ ). (Taulukko 10). Kun ESK:n avulla määritetty LAV suhteutettiin kehon rasvattomaan massaan ( $ESK_{lbm}$ ) havaittiin juoksijoilla tilastollisesti merkitsevä ja voimakas korrelaatio  $ESK_{lbm}$ :n ja seerumin T3-pitoisuuden välillä ( $r = 0,724$ ,  $p < 0,05$ ). Verrokeilla ja koko ryhmällä ei vastaa korrelaatiota havaittu ( $r = -0,014$ ,  $p = 0,071$ ;  $r = 0,329$ ,  $p = 0,168$  vastaavasti). Muiden hormonaalisten tekijöiden ja  $ESK_{lbm}$ :n välillä ei havaittu tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita.

TAULUKKO 10. Epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn LAV:n korrelaatio hormonaalisiin tekijöihin kaikilla koehenkilöillä sekä ryhmittäin

	T3 (pmol/l)	Kortisoli (nmol/l)	E <sub>2</sub> (nmol/l)	Insuliini (mIU/l)	IGF-1 (nmol/l)
Juoksijat <sup>a</sup> (n = 10)	0,599	-0,053	0,180	-0,312	0,327
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	-0,328	-0,377	0,291	0,152	0,088
Kaikki <sup>a</sup> (n = 19)	0,309	-0,146	0,166	0,022	0,258

<sup>a</sup> Muuttujien väliset yhteydet testattu Pearsonin korrelaatiokertoimella. T3, vapaa trijodityroniini; IGF-1, insuliinin kaltainen kasvutekijä-1; E<sub>2</sub>, estradioli.

ESK:n avulla määritetty LAV korreloi juoksijoilla voimakkaasti ja tilastollisesti erittäin merkitsevästi sekä Cunninghamin että HB yhtälöillä määritetyn LAV:n kanssa. Verrokeilla vastaavasti kumpikaan yhtälö ei korreloinut tilastollisesti merkitsevästi ESK:n avulla määritetyn LAV:n kanssa. Koko ryhmän osalta oli korrelaatio ESK:n avulla määritetyn LAV:n ja ennusteyhtälöiden kanssa tilastollisesti erittäin merkitsevä, HB korreloi voimakkaasti ja Cunninghamin yhtälö vastaavasti kohtalaisesti. (Taulukko 11).

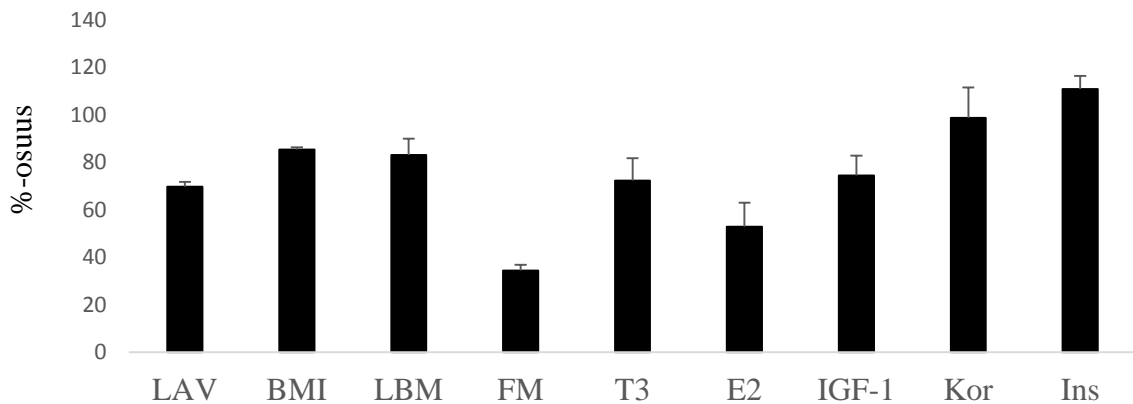
TAULUKKO 11. Epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn LAV:n korrelaatio lepoaineenvaihduntaa ennustaviin yhtälöihin

	Cunningham	Harris-Benedict
Juoksijat <sup>a</sup> (n = 10)	0,858**	0,928**
Verrokkit <sup>a</sup> (n = 9)	0,081	0,541
Kaikki <sup>a</sup> (n = 19)	0,611**	0,780**

<sup>a</sup> Muuttujien väliset yhteydet testattu Pearsonin korrelaatiokertoimella.

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$  tilastollisesti merkitsevä yhteys muuttujien välillä.

Kahdella koehenkilöllä esiintyi ESK:n avulla määritetyn LAV:n ja laskennallisen LAV:n suhteen perusteella alentunut lepoaineenvaihdunnan taso ( $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhde  $< 0,90$ ). Molemmat koehenkilöt olivat kestävyysjuoksijoita. Kuvassa 3. on esitetty heidän absoluuttinen LAV, antropometrisiä sekä hormonaalisia muuttujia suhteutettuna normaalin aineenvaihdunnan ryhmään. Vastaavasti valittujen antropometrinen, aineenvaihdunnallisten sekä hormonaalisten muuttujien absoluuttiset arvot näiden kahden koehenkilön osalta sekä juoksijoiden keskiarvon osalta on esitetty taulukossa 12. Koska koehenkilöitä, joilla oli ESK:n perusteella alentunut LAV oli vain kaksi, ei aineistoa voitu käyttää tilastolliseen analyysiin. Verrattuna normaalin  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen omaaviin olivat BMI:n, LBM:n, FM:n, T3:n, E2:n ja IGF-1:n osalta arvot keskiarvoisesti matalammalla tasolla. Kortisolin ja insuliinin osalta keskiarvot eivät eronneet toisistaan suuresti.



KUVA 3. Alentuneen LAV:n ( $LAV_{ESK}/LAV_{HB} < 0,90$ ) urheilijoiden aineenvaihdunnallisia, antropometrisia sekä hormonaalisia muuttujia suhteutettuna normaalin LAV:n koehenkilöihin ( $LAV_{ESK}/LAV_{HB} > 0,90$ ). LAV, lepoaineenvaihdunta; BMI, painoindeksi; LBM, kehon rasvaton massa; FM, kehon rasvamassa; T3, vapaan trijodityroniinin pitoisuus; E2, seerumin estradiolipitoisuus; IGF-1, seerumin insuliinin kaltainen kasvutekijä 1 –pitoisuus; Kor, seerumin kortisolipitoisuus; INS, seerumin insuliinipitoisuus.

Valittujen antropometrinen, aineenvaihdunnallisten sekä hormonaalisten muuttujien absoluuttiset arvot näiden kahden koehenkilön osalta sekä juoksijoiden keskiarvon osalta on esitetty taulukossa 12. Koska koehenkilöitä, joilla oli ESK:n perusteella alentunut LAV oli vain kaksi, ei aineistoa voitu käyttää tilastolliseen analyysiin. Verrattuna normaalin  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  –suhteen omaaviin olivat BMI:n, LBM:n, FM:n, T3:n, E2:n ja IGF-1:n osalta arvot keskiarvoisesti matalammalla tasolla. Kortisolin ja insuliinin osalta keskiarvot eivät eronneet toisistaan suuresti.

TAULUKKO 12. Alentuneen  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen tapaustarkastelu antropometrinen, hormonaalisten ja aineenvaihdunnallisten muuttujien osalta

	JT08	JT13	Juoksijoiden keskiarvo
Paino (kg)	40,5	47,5	54,0 ± 8,3
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	17,5	17,8	19,4 ± 2,0
LBM (kg)	36,7	43,2	46,5 ± 5,2
FM (kg)	4,0	4,6	8,0 ± 3,8
Rasvaprosentti (%)	10,4	10,1	14,7 ± 5,2
$LAV_{ESK}$ (kcal/pvä)	1067	1025	1430 ± 278
$LAV_{ESK}/LAV_{HB}$ (%)	85	79	102 ± 13
$LAV_{lbm}$ (kcal/kg <sub>lbm</sub> /pvä)	29,1	23,7	30,6 ± 3,4
Trjiodityroniini (pmol/l)	3,56	2,96	3,89 ± 0,91
Estradioli (nmol/l)	100	76	181 ± 100
IGF-1 (nmol/l)	33,5	28,6	35,4 ± 11,3
Kortisoli (nmol/l)	455	546	495 ± 95
Insuliini (mIU/l)	4,56	4,90	2,6 ± 1,5

## 8 POHDINTA

### 8.1. Epäsuoralla kalorimetrialla määritetyn lepoaineenvaihdunnan toistettavuus ja pätevyys

ESK:n avulla määritetyn LAV:n toistettavuutta ja pätevyyttä tarkasteltiin usean muuttujan avulla. Pääkriteereinä olivat se, että mittaustulos oli toistettava suoritettaessa kaksi mittausta eri päivinä. LAV:n laskennallisen arvion pätevyyttä arvioitiin vertaamalla sitä muihin LAV:n määrittämisessä käytettyihin laskennallisiin menetelmiin. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran välillä oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ja vahva korrelaatio, varsinkin kun tuloksissa käytettiin viimeisen kymmenen minuutin keskiarvoa ( $r = 0,905$ ,  $p < 0,01$ , kuva 1). Kuitenkin kun tarkastellaan koehenkilöitä yksittäin, on selkeää, että peräkkäisissä mittauksissa oli hyvin suuria eroja, jotka olivat korkeimmillaan yli 300kcal/pvä luokkaa (kuva 2). Muutokset eivät myöskään olleet systemaattisesti saman suuntaisia, joten testin toistamisen vaikutusta tuloksen suuntaan on vaikea arvioida (kuva 2). Tämä viittaa mahdollisesti siihen, että muutokset tuloksissa olisivat enemmän menetelmästä kuin koehenkilöistä tai mittaustilanteesta johtuvia.

Keskiarvoisesti poikkeama oli koko ryhmän osalla  $135 \pm 101$  kcal/pvä tai n. 7,5% (taulukko 3). Yksilöllisten poikkeamien ollessa hyvinkin suuria tulisi LAV-mittaukset suorittaa vähintään kahdesti lyhyen aikavälin sisällä tuloksen pätevyyden lisäämiseksi. ICC-arvojen perusteella tulokset ovat hyvin toistettavia (taulukko 4). Toisaalta ICC-arvoihin tulisi suhtautua varauksella sillä menetelmää suositellaan käytettäväksi erityisesti silloin kun otoskoko on vähintään 30, toisaalta pienet otoskoot tyypillisesti alentavat ICC-arvoa (Koo ja Li 2016). ICC-arvo on aiemmassa tutkimuksessa asetunut välille 0,97-0,99 LAV<sub>ESK</sub> -mittausten toistettavuutta tutkittaessa (Ashley ym. 2001). Tähän arvoon verrattuna kannettavalla hengitysanalysointorilla (Oxycon mobile) suoritettu LAV<sub>ESK</sub> on vähemmän toistettava menetelmä.

Kuten korrelaatiokertoimesta sekä mittauskertojen välillä valitsevasta keskiarvoisesta erotuksesta (kuva 1, taulukko 3) voidaan päätellä, tulisi LAV:ssa havaita kohtalaisen suuri poikkeama ( $135 \pm 101$  kcal/pvä tai n. 7,5% poikkeama), jotta mittauksen perusteella voitaisiin määrittää esimerkiksi intervention seurauksen tapahtunut muutos LAV:ssa tai vastaavasti alentunutta LAV:ia määritettäessä. Roffey ym. (2006) havaitsivat, että käytettäessä hengitysmaskia hengityskuvun sijaan oli mittauskertojen variabiliteetti suurempi (7,3% vs. 5,2%). Compher ym. (2006) puolestaan havaitsivat 4-6% tai alle 100 kcal/pvä vaihtelun viikon sisällä tehtyjen mittausten välillä. Tämän tutkimuksen tulokset ovat linjassa näiden havaintojen kanssa mittauskertojen vaihtelun osalta.

Tuloksien toistettavuutta ja pätevyyttä arvioitaessa on kannettavalla hengityskaasuanalysointorilla suoritettu LAV<sub>ESK</sub> -mittaus tilastollisesti toistettava menetelmä Pearsonin tulomomenttikertoimen sekä ICC-arvojen perusteella, mutta samalla on syytä kyseenalaistaa, onko menetelmä riittävän tarkka, jotta sitä olisi mielekästä soveltaa käytännössä. Erityisesti Ashley ym. (2001) tutkimukseen verrattuna on ICC-arvo selvästi huonompi. Muutosten LAV:ssa tulisi olla kohtalaisen suuria (8% tai yli) sekä yksilön peräkkäisten mittausten arvojen tulisi olla riittävän lähellä toisiaan, jotta mittauksia voitaisiin pitää toistettavana ja pätevänä.

Vertailtaessa LAV<sub>ESK</sub> arvoa laskennallisiin LAV:n arvoihin (HB yhtälö sekä Cunninghamin yhtälö) löytyi tilastollisesti merkitsevä korrelaatio vain koko ryhmän osalta. Tämä tosin johtunee siitä, että sukupuolittain olivat ryhmäkoot pieniä (taulukko 5). Sekä HB että Cunninghamin menetelmällä määritettynä vallitsi koko ryhmän osalta tilastollisesti erittäin merkitsevä korrelaation LAV<sub>ESK</sub> ja laskennallisten LAV menetelmien välillä korrelaation siten että HB korreloi voimakkaammin kuin Cunninghamin yhtälö ( $r = 0,929$  vs.  $r = 0,887$ ) (taulukko 5). Vaikka HB menetelmän osalta korrelaatio oli voimakkaampaa, vaikutti se toisaalta johtavan matalampaan arvioituun LAV:an kuin LAV<sub>ESK</sub> ( $1643$  kcal/pvä  $\pm 288$  vs.  $1799$  kcal/pvä  $\pm 336$ , LAV<sub>ESK</sub>/LAV<sub>HB</sub> – suhde  $1,10 \pm 0,08$ ) (taulukko 3). Cunningham:n menetelmällä arvioitu LAV sen sijaan oli keskiarvoisesti hyvin lähellä koko ryhmän keskiarvoa ( $1811$  kcal/pvä  $\pm 377$  vs.  $1799$  kcal/pvä  $\pm 336$ ) (taulukko 3). Näiden tulosten

perusteella ei voida vetää selvää johtopäätöstä LAV<sub>ESK</sub> –menetelmän arvion absoluuttisesti oikeudesta vaan tuloksia tulisi verrata vielä muihin mittausten menetelmiin kuten suora kalorimetria.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on ollut viitteitä siitä, että kannettavat hengityskaasuanalysaattorit yliarvioivat VO<sub>2</sub>:a ja VCO<sub>2</sub>:ta matalilla energiankulutuksen tasoilla (Rosdahl ym. 2010), joka puolestaan johtaisi energiankulutuksen yliarviointiin, ja HB-tulokseen verrattaessa näin näyttääkin olevan. Kehonpainoon suhteutetun hapenkulutuksen (3,75 ml/kg/min ± 0,32 molempien mittausten viimeisen 10 minuutin keskiarvon suhteen) vaikuttaisi kannettava hengityskaasuanalysaattori yliarvoineen lepo hapenkulutusta, sillä aikaisemmissa tutkimuksissa lepo hapenkulutuksen on havaittu olevan 17-38 vuotiailla terveillä miehillä 3,21 ml/kg/min luokkaa 95%:n luottamusvälin ollessa 3,13-3,30 ml/kg/min (Cunha ym. 2013). Kyseisessä tutkimuksessa miesten rasvaprosentti oli aavistuksen matalampi kuin tämän tutkimuksen miespuolisilla koehenkilöillä (10,2 % ± 4,4 vs. 15,8 % ± 5,6). Kehonpainoon suhteutettu aineenvaihdunnallinen massa oli siis suurempi Cunha ym. (2013) tutkimuksessa, mutta vastaavasti kehonpainoon suhteutettu VO<sub>2</sub> matalampi. Naisilla puolestaan on aiemmassa tutkimuksissa kehonpainoon suhteutetun LAV:n (LAV<sub>lbm</sub>) havaittu olevan suunnilleen 30 kcal/kg<sub>lbm</sub>/pvä tasolla, joka on jonkin verran matalampi kuin tässä tutkimuksessa havaittu 32,0 ± 3,0 kcal/kg<sub>lbm</sub>/pvä (Melin ym. 2015). Näiden havaintojen perusteella vaikuttaa siltä, että kannettava hengityskaasuanalysaattori saattaa yliarvioida hapenkulutusta ja täten LAV:n suuruutta.

LAV:n pätevä määrittäminen ESK:n avulla vaatii myös sitä, että hengityskaasujen variaatiokertoimet ovat riittävän pienet analysoitavalta aikajaksolta. Compher ym. (2006) mukaan VO<sub>2</sub> ja VCO<sub>2</sub> variaatiokertoimien tulisi olla alle 10% analysoitavalla aikajaksolla. Tässä tutkimuksessa variaatiokertoimet olivat sekä viimeistä viittä että kymmentä minuuttia tarkasteltaessa molemmilla mittauskerroilla keskiarvoisesti alle tämän arvon (taulukko 2) joskin yksittäisissä mittauksissa arvo ylittyi. Myös RQ:n tulisi olla välillä 0,70-1,0 pätevässä LAV-mittauksessa (Compher ym. 2006). Keskiarvoisesti RQ oli tässä tutkimuksessa 0,80 ± 0,03. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että hengityskaasujen osalta ei esiintynyt



ilmeisiä ongelmia ja arvot näyttivät olevan linjassa aiemmin määritettyjen luotettavan ESK-menetelmällä arvioidun LAV:n kriteerien kanssa, joskin yksittäisten mittausten osalta esiintyi ongelmia. Tämä korostaakin sitä, että suoritettaessa LAV määrittäminen ESK:n avulla tulisi ensin tarkistaa mittauksen onnistuneisuus hengityskaasuarvojen perusteella ennen tuloksen määrittämistä.

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kannettavalla hengityskaasuanalysointilaitteella suoritettava LAV-määrittäminen on tilastollisesti toistettava, mutta se vaikuttaa hieman yliarvioivan LAV:n absoluuttista tasoa. Menetelmän pätevyyteen tulisi kuitenkin suhtautua varauksella sillä mittavirhe on kohtalaisen suuri verrattuna oletettuihin muutoksiin LAV:ssa. Tulosten pätevyyden lisäämiseksi, tulisi LAV-mittaus toistaa lyhyen ajanjakson sisällä. Lisäksi tulisi kiinnittää erityistä huomiota hengityskaasujen variaatiokertoimien suuruuteen (<10%) sekä siihen, että toistetun mittauksen arvo ei eroa ainakaan yli kahdeksaa prosenttia edellisestä mittauksesta. Toisaalta mikäli LAV-arvon muutosta intervention seurauksena halutaan tarkistella kannettavalla hengityskaasuanalysointilaitteella määritetyn LAV:n suhteen, tulisi muutoksen olla vähintään 8% luokkaa, jotta se sijoittuu mittavirheen ulkopuolelle. Absoluuttisen LAV-arvon määrittämisessä sen sijaan kannettava hengityskaasuanalysointilaitteella vaikuttaa yliarvioivan tuloksia. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida pätevästi määrittää korjauskerrointa näille tuloksille, joten tämän osalta tulisi kannettavan hengityskaasuanalysointilaitteen avulla määritettyä LAV:ia verrata esimerkiksi suoraan kalorimetriaan. Mikäli kannettavaa hengityskaasuanalysointilaitteita halutaan hyödyntää alentuneen energia-aineenvaihdunnan toteamiseen tulisi ensinnäkin havaita riittävän suuri poikkeama (> 8%) ennustetusta arvosta, lisäksi on mahdollista, että kyseisellä menetelmällä alentunut LAV jää huomaamatta johtuen menetelmän taipumuksesta yliarvioida LAV.

Epäsuoraa kalorimetriaa pidetään parhaana menetelmänä lepoaineenvaihdunnan määrittämisessä (Compher ym. 2006; Levine 2005). Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaa kuitenkin siltä, että epäsuoran kalorimetrin mittausvälineissä on selkeitä eroja. Kannettavaa hengityskaasuanalysointilaitteita ei näiden tulosten valossa voi pitää yhtä tarkkana menetelmänä kuin perinteistä epäsuoran kalorimetrin mittaria, joilla voidaan saavuttaa jopa 1%:n tarkkuus.

Hengityskuvun käyttö –maskin sijasta voisi parantaa mittaustilannetta, mutta jatkossa tulisi myös tarkastella kannettavan ja perinteisen hengityskaasuanalysaattorin tuloksia toisiinsa. Lisäksi on suositeltavaa, että päivittäisen kaasuseos kalibraation lisäksi suoritetaan kuukausittainen kalibraatio, jossa poltetaan mitattu massa standardisoitua tunnettua energiaekvivalenttia (esim. ultrapuhdas butaani ja etanoli) ja tarkistetaan kalorimetrin tarkkuus tätä vasten.

Mittaajasta, mittaustilanteesta ja koehenkilöstä johtuvat virhelähteet pyrittiin minimoimaan mittaustilanteen tarkalla toistamisella sekä olosuhteiden vakioimisella. Mittaukset suoritettiin lyhyen aikajakson aikana, joten tältä osin ei ollut odotettavissa muutoksia koehenkilöiden lepoinneenvaihdunnassa. Toisaalta, vaikka koehenkilöille ohjeistettiin mittaukseen valmistautuminen huolellisesti, on mahdollista, että tästä aiheutui virhelähde sillä koehenkilöt valmistautuivat mittauksiin itsenäisesti eikä heitä valvottu tämän osalta. Hengityskaasuanalysaattorin kalibrointi suoritettiin huolellisesti ja useaan otteeseen ennen jokaista mittausta, joten tämän osalta virhelähteet pyrittiin minimoimaan. Tutkimuksen puutteena voidaan pitää sitä, että menetelmän pätevyyttä arvioitiin vain kehonkoostumukseen, ikään ja sukupuoleen perustuvia menetelmiä vasten, jotka ovat vähemmän päteviä lepoinneenvaihdunnan määrittämisessä kuin epäsuora kalorimetria.

## **8.2. Lepoinneenvaihdunnan yhteydet antropometriin ja hormonaalisiin tekijöihin naiskestävyysjuoksijoilla sekä verrokeilla**

Juoksijoiden ja verrokkien välillä ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa iän, pituuden tai rasvattoman massan suhteen, sen sijaan paino sekä FM olivat juoksijoilla tilastollisesti merkittävästi alemmalla tasolla (taulukko 6). Näiden tulosten perusteella juoksijoita ja verrokkeja voidaan verrata hyvin keskenään, joskin erityisesti FM ja painon suhteen herkkien muuttujien kohdalta voidaan olettaa näiden erojen selittävän ainakin osan muuttujista.

Kuten tutkimuskysymyksessä 4 oletettiin, havaittiin rasvattomaan kehonpainoon suhteutetun LAV:n ja T3-pitoisuuksien välillä tilastollisesti merkitsevä positiivinen korrelaatio ( $r = 0,724$ ,

$p < 0,05$ ), tosin kyseinen korrelaatio havaittiin vain juoksijoilla, ei verrokeilla tai koko ryhmällä. Muiden hormonien osalta ei havaittu merkittäviä korrelaatioita. Tämän perusteella sekä LAV:aa että T3-pitoisuutta voidaan harkita alentuneen energia-aineenvaihdunnan havaitsemiseen urheilijoilla. Toisaalta, T3-pitoisuuden korreloidessa nimenomaan rasvattomaan kehonpainoon suhteutetun LAV:n kanssa tulee harkita myös T3-pitoisuuden normalisointia suhteessa rasvattomaan kehonpainoon. Myös ryhmäkohtaisessa vertailussa juoksijoiden ja verrokkien välillä (taulukko 7) havaittiin sT3-pitoisuudessa tilastollisesti merkitsevä ero ( $3,89 \text{ pmol/l} \pm 0,91$  vs.  $4,91 \text{ pmol/l} \pm 0,94$ ) (taulukko 6). Aiemmissä tutkimuksissa T3-pitoisuuden on havaittu olevan selvässä yhteydessä kehonpainoon, lisäksi FM:n erittämän leptiinin ja T3-pitoisuuden välillä on havaittu positiivinen korrelaatio, joten juoksijoiden alempi T3-pitoisuus selittyy todennäköisesti ainakin osittain näillä ryhmien välisillä eroilla (Reinehr ym. 2008; Thong ym. 2000). Myös insuliinipitoisuus oli juoksijoilla tilastollisesti merkittävästi alhaisempi kuin verrokeilla (taulukko 7).

Juoksijoilla vallitsi voimakkaan positiivinen ja tilastollisesti merkittävä tai erittäin merkittävä korrelaatio ESK:n avulla määritetyn LAV:n sekä painon, BMI:n, LBM ja FM välillä, koko ryhmältä samat havaittiin pääosin samat korrelaatiot, joskin alhaisemmalla tasolla. Koko ryhmän alhaisemmat korrelaatiot johtunevat siitä, että verrokeilla ei ollut tilastollisesti merkittävää korrelaatiota minkään näistä muuttujista välillä. Tekijöiden välillä voisi olettaa olevan selvä korrelaatio, sillä sekä painoa että LBM käytetään yleisesti LAV:n suuruutta arvioivissa yhtälöissä. FM korrelaatio LAV:n kanssa on vaikeampi selittää, joskin sillä voi olla yhteyttä leptiinin aineenvaihduntaa kasvattavan vaikutuksen kanssa, lisäksi juoksijoiden kohdalla on mahdollista, että alhainen rasvamassa on yhteydessä naisurheilijan oireyhtymään ja alentuneeseen LAV-tasoon, jolloin näiden välinen positiivinen korrelaatio olisi odotettavissa (Melin ym. 2015; Reinehr ym. 2008; Thong ym. 2000; De Souza ym. 2008).

Juoksijoilla sekä Cunninghamin että HB yhtälö korreloivat voimakkaasti ja tilastollisesti erittäin merkittävästi ESK:n avulla määritetyn LAV:n kanssa, joskin HB osalta korrelaatio oli vielä voimakkaampi ( $0,928$  vs.  $0,858$ ). Koko ryhmän osalta Cunninghamin yhtälö korreloi tilastollisesti erittäin merkittävästi, mutta vain kohtalaisesti ESK:n avulla määritetyn LAV:n

kanssa, HB osalta korrelaatio oli voimakas ja tilastollisesti erittäin merkittävä, joskin korrelaatio oli matalampi kuin juoksijoilla. Sen sijaan verrokeilla ei esiintynyt kummankaan muuttujan osalta tilastollisesti merkittävää korrelaatiota ESK:n avulla määritetyn LAV:n kanssa. (Taulukko 7). Tämä vastaa LAV-mittausten toistettavuutta ja pätevyyttä tutkittaessa tehtyjen mittausten tuloksia, joissa ei myöskään esiintynyt tilastollisesti merkittäviä korrelaatioita näiden muuttujien välillä (taulukko 5). Eroja ei täysin voi selittää erolla tutkittavien määrässä, sillä juoksijoita oli vain yksi koehenkilö enemmän kuin verrokkeja. Näiden tulosten perusteella juoksijoilla voi hyvin käyttää rasvattomaan massaan (Cunningham) tai pituuteen, painoon, ikään ja sukupuoleen (HB) perustuvia yhtälöitä LAV-tason arvioinnissa.

Juoksijoilla ja verrokeilla määritettiin lisäksi  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhde, jonka perusteella joukosta erottui kaksi koehenkilöä joilla  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhde oli alle 90%, jota pidetään alentuneen LAV:n merkinä (De Souza ym. 2008). Molemmat koehenkilöt olivat juoksijoita. Juoksijoiden  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  suhde oli keskimäärin  $102 \pm 13\%$ , joten tältä osin eroa voidaan pitää merkittävänä, ja se ylittää menetelmän mittavirheen rajan.  $LAV_{lbm}$  perusteella vain toisella näistä henkilöistä (JT13) oli selvästi odotettua alhaisempi aineenvaihdunnan taso  $23,7 \text{ kcal/kg}_{lbm}/\text{pvä}$  kun normaalina arvona voidaan pitää n.  $30 \text{ kcal/kg}_{lbm}/\text{pvä}$  (taulukko 12) (Melin ym. 2015). Alentuneen LAV:n kriteerit  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen perusteella oli vain kaksi, joten heidän tuloksiaan ei tarkastella tilastollisen analyysimenetelmien perusteella, vaan tuloksia tarkastellaan sekä heidän kahden osalta yhdessä että erikseen.

Hormonaalisista muuttujista on havaittavissa viitteitä naisurheilijan oireyhtymään varsinkin T3, E<sub>2</sub> ja IGF-1 osalta, joskin E<sub>2</sub> lukemiin tulee suhtautua varauksella sillä mittauksia ei kontrolloitu kuukautiskierron tai hormonaalisen ehkäisyn suhteen. Verrattuna juoksijoiden keskiarvoon oli molemmilla koehenkilöillä kuitenkin selvästi alhaisempi E<sub>2</sub>, joka on yksi naisurheilijan oireyhtymän merkittävistä kriteereistä (Loucks ym. 2011; Melin ym. 2015). Alhaisen estrogeenipitoisuuden on havaittu olevan yhteydessä sekä kuukautiskierron häiriöihin että heikentyneeseen luuston kuntoon naiskestävyysurheilijoilla (Melin ym. 2015, Loucks ym. 2011). Molemmilla tapauksilla oli taipumusta sekä alhaiseen BMI:n että

alhaiseen LBM:n ja rasvaprosenttiin (taulukko 12). Alentunut paino, LBM sekä FM todennäköisesti osaltaan selittävät myös T3 -arvoja, mutta yhdessä alhaisen T3 -arvon,  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhteen,  $E_2$  -pitoisuuden sekä  $LAV_{lbm}$  -arvon perusteella on syytä epäillä naisurheilijan oireyhtymää. JT08 osalta nämä kriteerit täyttyvät vain osittain, mutta JT13 osalta ovat sekä T3 että  $E_2$  selvästi alhaisemmat kuin muilla juoksijoilla ja sekä  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  että  $LAV_{lbm}$  selvästi alentunut. Aiemmissä tutkimuksissa on tyypillisesti käytetty joko  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhdetta tai  $LAV_{lbm}$  -arvoa, mutta näiden tulosten perusteella tulisi käyttää molempia arvoja, mikäli mahdollista, erityisesti, koska  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  -suhde perustuu Harris-Benedictin yhtälöön, jossa rasvattoman massan määrää ei oteta huomioon (De Souza ym. 2008; Melin ym. 2015).

Näiden tulosten perusteella voidaan ESK:n avulla määritettyä LAV:a pitää potentiaalisena tapana havaita naisurheilijan-oireyhtymän havaitsemisessa, mutta mikäli  $LAV_{ESK}/LAV_{HB}$  - ja/tai  $LAV_{lbm}$ -arvot antavat viitteitä Naisurheilijan-oireyhtymästä, tulisi lisäksi pyrkiä hormonaalisten tekijöiden (T3,  $E_2$ , IGF-1, kortisoli, insuliini) avulla pyrkiä tarkastelemaan tapausta tarkemmin. Alentunut LAV yksinään ei välttämättä ole yhteydessä muihin naisurheilijan oireyhtymän oireisiin. Oikean kokonaiskuvan saamiseksi  $LAV_{ESK}$  -arvo tulisi yhdistää hormonaalisiin muuttujiin ja muihin oireyhtymän tekijöihin kuten kuukautiskierron häiriöihin sekä alentuneeseen luuston massaan.

## LÄHTEET

- Ackerman, K. E. & Misra, M. 2011. Bone health and the female athlete triad in adolescent athletes. *The Physician and Sportsmedicine* 39 (1), 131-141.
- Akbulut, G. & Rakiciogly, N. 2012. The effects of diet and physical activity on resting metabolic rate (RMR) measured by indirect calorimetry, and body composition assessment by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Turkish Journal of Physical Medicine & Rehabilitation / Turkiye Fiziksel Tip Ve Rehabilitasyon Dergisi* 58 (1), 1-8.
- Ashley, M. A., Broomhead, L., Allen J. R., & Gaskin, K. J. 2001. Variations in the measurement of energy expenditure in children with cystic fibrosis. *European Journal of Clinical Nutrition* 55 (10), 896-901.
- Botero, J. P., Prado, W. L., Guerra, R. L. F., Speretta, G. F. F., Leite, R. D., Prestes, J., Sanz, A. V., ym. 2014. Does aerobic exercise intensity affect health-related parameters in overweight women? *Clinical Physiology & Functional Imaging* 34 (2), 138-142.
- Burt, D. G., Lamb, K., Nicholas, C. & Twist, C. 2014. Effects of exercise-induced muscle damage on resting metabolic rate, sub-maximal running and post-exercise oxygen consumption. *European Journal of Sport Science* 14 (4), 337-344.
- Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N., Roth-Yousey, L. 2006. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Journal of American Dietetic Association* 106 (6), 881-903.

- Cunha, F. A., Midgley, A. W., Montenegro, R., Oliveira, R. B. & Farinatti, P. T. V. 2013. Metabolic equivalent concept in apparently healthy men: A re-examination of the standard oxygen uptake value of 3.5 mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 38 (11), 1115-1119.
- De Souza, M. J., Hontscharuk, R., Olmsted, M., Kerr, G. & Williams, N. I. 2007. Drive for thinness score is a proxy indicator of energy deficiency in exercising women. *Appetite* 48 (3), 359-367.
- De Souza, M. J., West, S. L., Jamal, S. A., Hawker, G. A., Gundberg, C. M. & Williams, N. I. 2008. The presence of both an energy deficiency and estrogen deficiency exacerbate alterations of bone metabolism in exercising women. *Bone* 43 (1), 140-148.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. 2006. *Textbook of medical physiology*. 11. painos. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders.
- Hilton, L. K. & Loucks, A. B. 2000. Low energy availability, not exercise stress, suppresses the diurnal rhythm of leptin in healthy young women. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 278 (1), 43.
- Hopkins, W. G. 200. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine* 30 (1), 1-15.
- Koo, T. K. & Li, M. Y. 2016. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine* 15 (2), 155-163.
- Levine, J. A. 2005. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutrition* 8 (7A), 1123-1132.

- Loucks, A. B. 2004. Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences* 22 (1), 1-14.
- Loucks, A. B. & Callister, R. 1993. Induction and prevention of low-T3 syndrome in exercising women. *The American Journal of Physiology* 264 (5 Pt 2), 924.
- Loucks, A. B. & Heath, E. M. 1994a. Dietary restriction reduces luteinizing hormone (LH) pulse frequency during waking hours and increases LH pulse amplitude during sleep in young menstruating women. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 78 (4), 910-915.
- Loucks, A. B. & Heath, E. M. 1994b. Induction of low-T3 syndrome in exercising women occurs at a threshold of energy availability. *The American Journal of Physiology* 266 (3 Pt 2), 817.
- Loucks, A. B., Kiens, B. & Wright, H. H. 2011. Energy availability in athletes. *Journal of Sports Sciences* 29 Suppl 1, 7.
- Loucks, A. B. & Thuma, J. R. 2003. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 88 (1), 297-311.
- Melin, A., Tornberg, A. B., Skouby, S., Moller, S. S., Sundgot-Borgen, J., Faber, J., Sidelmann, J. J., Aziz, M. & Sjodin, A. 2015. Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 25 (5), 610-622.
- Puurtinen, R. 2016. Jyväskylän yliopisto toistettavuus IMMU2000.



- Reinehr, T., Isa, A., de Sousa, G., Dieffenbach, R. & Andler, W. 2008. Thyroid hormones and their relation to weight status. *Hormone Research* 70 (1), 51-57.
- Roffey, D. M., Byrne, N. M., Hills A. P. 2006. Day-to-day variance in measurement of resting metabolic rate using ventilated-hood and mouthpiece & nose-clip indirect calorimetry systems. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 30 (5), 426-432.
- Rosenbaum, M. & Leibel, R. L. 2016. Models of energy homeostasis in response to maintenance of reduced body weight. *Obesity* 24 (8), 1620-1629.
- Sagayama, H., Yoshimura, E., Yamada, Y., Ichikawa, M., Ebine, N., Higaki, Y., Kiyonaga, A. & Tanaka, H. 2014. Effects of rapid weight loss and regain on body composition and energy expenditure. *Applied Physiology, Nutrition & Metabolism* 39 (1), 21-27.
- Saris, W. H. 2001. The concept of energy homeostasis for optimal health during training. *Canadian Journal of Applied Physiology = Revue Canadienne De Physiologie Appliquee* 26 Suppl, 167.
- Swanepoel, M., De Ridder, J. H., Wilder, C. J., Van Rooyen, J., Strydom, G. L. & Ellis, S. 2013. The effects of a 12-week resistance training programme on the body composition and resting metabolic rate in a cohort of caucasian and coloured, premenopausal women aged 25-35 years. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation & Dance* 19 (4), 759-769.
- Swenne, I., Stridsberg, M., Thurfjell, B. & Rosling, A. 2009. Triiodothyronine is an indicator of nutritional status in adolescent girls with eating disorders. *Hormone Research* 71 (5), 268-275.

- Thompson, J. & Manore, M. 1996. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *Journal of the American Dietetic Association* 96 (1), 30-34.
- Thong, F. S., McLean, C. & Graham, T. E. 2000. Plasma leptin in female athletes: Relationship with body fat, reproductive, nutritional, and endocrine factors. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 88 (6), 2037-2044.
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E. & Norton, L. E. 2014. Metabolic adaptation to weight loss: Implications for the athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 11 (1), 7.
- Wilson, G., Hill, J., Sale, C., Morton, J. P. & Close, G. L. 2015. Elite male flat jockeys display lower bone density and lower resting metabolic rate than their female counterparts: Implications for athlete welfare. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 40, 1318.