

PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS
ENERGIA-AINEENVAIHDUNTAAN

Annikki Ahonen
Kandidaatintutkielma
Ravitsemustiede
Lääketieteen laitos
Terveystieteiden tiedekunta
Itä-Suomen yliopisto
Marraskuu 2017

ITÄ-SUOMEN YLIOPISTO

Terveystieteiden tiedekunta, Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö

Ravitsemustiede

AHONEN ANNIKKI: Painonpudotuksen vaikutus energia-aineenvaihduntaan

Kandidaatintyö, 34 s.

Ohjaaja: Professori Marjukka Kolehmainen

Marraskuu 2017

Avainsanat: energiankulutus, painonpudotus, energia-aineenvaihdunta, lihavuus, energiankulutuksen neuroendokriininen säätely

PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS ENERGIA-AINEENVAIHDUNTAAN

Ihmisen vuorokauden aikainen kokonaisenergiankulutus koostuu perusaineenvaihdunnasta, ravinnon aiheuttamasta energiankulutuksesta ja fyysisestä aktiivisuudesta. Elimistön fysiologinen säätelyjärjestelmä säätelee energiatasapainoa ja ylläpitää kehon energiavarastoja hormonaalisten ja neuraalisten signaalien perusteella. Painonpudotus pienentää energiankulutusta, koska kehonmassa ja siten energiaa kuluttavan kudoksen määrä pienenee. Myös kehonkoostumus vaikuttaa energiankulutukseen, sillä kudosten aineenvaihdunnan aktiivisuus ja siten energiankulutus eroavat toisistaan. Rasvaton kudos kuluttaa enemmän energiaa kuin rasvakudos, ja sen menetys vastaa suurimmasta osasta laihdutuksen aiheuttamasta energiankulutuksen pienenemisestä.

Painonpudotuksen yhteydessä on havaittu energiankulutuksen vähenevän enemmän kuin kehonkoostumuksen ja kehonpainon muutoksen perusteella voisi laskennallisesti olettaa. Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena oli selvittää painonpudotuksen vaikutuksia energia-aineenvaihduntaan ja sitä, pieneneekö energiankulutus painonpudotuksen seurauksena enemmän kuin kehonkoostumuksen ja -painon muutosten perusteella voisi olettaa.

Painonpudotuksen vaikutuksesta energiankulutukseen on keskenään ristiriitaista näyttöä. Osassa tutkimuksista painonpudotus pienensi tutkittavien energiankulutusta enemmän kuin kehonkoostumuksen ja painon muutosten perusteella oli oletettu ja osassa tutkimuksista tätä ei havaittu lainkaan. Tutkimuksissa saatiin viitteitä siitä, että etenkin sympaattisen hermoston aktiivisuuden, veren leptiini-pitoisuuden ja trijodityroniinin pitoisuuden lasku voivat liittyä aineenvaihdunnan hidastumiseen. Tulosten perusteella painonpudotus voi mahdollisesti aiheuttaa metabolista adaptaatiota siinä mittakaavassa, että se voi vaikeuttaa painonpudotusta ja sen ylläpitoa. Tutkimusten suora vertailu on kuitenkin haastavaa, sillä ne vaihtelivat suuresti toteutuksen, kontrolliryhmän, seurannan pituuden, otoskoon, tutkittavien, painonpudotusmenetelmien ja tutkimusten keston suhteen. Painonpudotuksen vaikutuksesta energiankulutukseen tarvittaisiin uutta tutkimusta ja erityisesti kontrolloituja ja satunnaistettuja tutkimuksia.

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO	4
2 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA.....	5
2.1 ENERGIANKULUTUKSEN OSA-ALUEET.....	5
2.3 ENERGIANKULUTUKSEN NEUROENDOKRIINEN SÄÄTELY	7
3 PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN	8
3.1 VUOROKAUDEN AIKAINEN ENERGIANKULUTUS	9
3.2 LEPOAINEENVAIHDUNTA	10
3.3 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN AIHEUTTAMA ENERGIANKULUTUS	12
3.4 PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEN NEUROENDOKRIINISEEN SÄÄTELYYN.....	13
4 POHDINTA	15
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	21
6 LÄHTEET.....	21
7 LIITTEET	26

1 JOHDANTO

Lihavuuden ja ylipainon yleistyminen on noussut merkittäväksi terveyshaasteeksi länsimaissa ja yhä suuremmassa määrin myös kehittyvissä maissa ja kehitysmaissa (World Obesity Federation 2015). Ongelman yleistymisen voidaan nähdä heijastavan ihmisten geeniperimän ja ympäristön yhteisvaikutusta (Rosenbaum ja Leibel 2010). Evoluution myötä ihmisten elimistö pyrkii varastoimaan tehokkaasti ylimääräisen energian rasvakudokseksi. Tämä ominaisuus yhdistettynä ympäristöön, jossa ruoan saanti ei ole rajoitettua ja fyysinen aktiivisuus on vähäistä, aiheuttaa painonnousua.

Yleensä laihtumisen haasteena ei ole itse painonpudotus, vaan pudotetun painon ylläpito. Suurimmalla osalla laihtuneista paino nousee alkuperäisiin lukemiin (Rosenbaum ja Leibel 2010). Ihmisen elimistö pyrkii vastustamaan muutoksia kehonpainossa ja mekanismit ovat hyvin samankaltaisia niin lihavilla kuin hoikilla. Energian varastoitumista ja vapautumista ja siten rasvakudoksen määrää säätelevien systeemien monilukuisuus tekevät painonpudotuksesta ja etenkin muutoksen ylläpidosta haastavaa. Kehonpainon pysyvyyteen vaikuttaa muutokset aineenvaihdunnan, hormonitoiminnan ja autonomisen hermoston vasteissa sekä käyttäytymisessä. Näiden vasteiden yhteistoiminta aikaan saa energia-aineenvaihdunnan hidastumisen, jota kansankielellä kutsutaan säästöliekiksi.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on selvittää millaisia vaikutuksia painonpudotuksella on energia-aineenvaihduntaan ja onko energia-aineenvaihdunnan hidastuminen todellinen ilmiö.

2 ENERGIA-AINEENVAIHDUNTA

2.1 ENERGIANKULUTUKSEN OSA-ALUEET

Ihmisen vuorokauden aikainen kokonaisenergiankulutus koostuu perusaineenvaihdunnasta, ravinnon aiheuttamasta energiankulutuksesta, fyysisestä aktiivisuudesta ja kasvusta (Lanham-New ym. 2011). Perusaineenvaihdunnalla tarkoitetaan sitä vähimmäismäärää energiaa, jota tarvitaan elimistön välttämättömien peruselintoimintojen, kuten sydänlihaksen tai hengityselinten toiminnan, ylläpitoon (Pinheiro Volp ym. 2011). Perusaineenvaihdunta ilmoitetaan kilokalorien tai kilojoulien kulutuksena minuuttia tai tuntia kohti, mikä voidaan yleistää vuorokauden aikaiseen energiankulutukseen. Perusaineenvaihdunta mitataan useimmiten vähintään 8 tunnin unen ja yön yli pidetyn 12–14 tunnin paaston jälkeen epäsuoran kalorimetrian avulla. Perusaineenvaihdunnan taso on lähellä lepoaineenvaihdunnan tasoa. Myös lepoaineenvaihdunta mitataan epäsuoran kalorimetrian avulla, mutta tutkittavat lepäävät vähintään 30 minuuttia ja paastoavat 3 tuntia. Fyysisen aktiivisuuden ja ruoan termogeneesin suuremman vaikutuksen vuoksi lepoaineenvaihdunta voi olla perusaineenvaihduntaa 3–10 % korkeampi. Myös unen aikaisella energiankulutuksen mittauksella saadaan tietoa samasta energiankulutuksen osa—alueesta kuin perusaineenvaihdunnan ja lepoaineenvaihdunnan mittauksella (Lam ja Ravussin 2016).

Ruoansulatuksessa käsiteltävän aterian aiheuttamasta lämmöntuotannosta, eli termogeneesistä, johtuva energiankulutus aiheutuu ruoan nauttimisen jälkeisestä ravintoaineiden hajottamisesta, imeytymisestä, kuljetuksesta ja varastoinnista. Fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus koostuu kaikesta peruselintoimintojen ylläpitämisen ylittävistä liikkeistä ja spontaanista fyysisestä aktiivisuudesta (Pinheiro Volp ym. 2011). Spontaanilla fyysisellä aktiivisuudella tarkoitetaan yleensä tiedostamatonta liikehdintää, asennon ylläpitoa ja normaalia arjen aktiivisuutta (Lam ja Ravussin 2016).

2.2 ENERGIANKULUTUKSEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Perusaineenvaihdunta kuluttaa suurimman osa vuorokauden energian tarpeesta ja vaihtelee vähän liikkuvilla 60–70 % vuorokauden aikaisesta energiantarpeesta (Pinheiro Volp ym. 2011). Yksilöillä, joilla fyysinen aktiivisuus on suurempaa, perusaineenvaihdunnan osuus vuorokauden aikaisesta energiantarpeesta voi olla noin 50 %. Perusaineenvaihdunnan

nopeuteen vaikuttavat monet eri tekijät; kehonkoostumus, paino, ikä, etninen tausta, lämpötila, uni- ja valvetila, hormonit, sairaudet ja ruokavalio. Tämän vuoksi yksilölliset erot ovat suuria. Lasten ja raskaana olevien tai imettävien naisten energiantarve on suurentunut, jotta kasvu tai maidontuotanto on mahdollista (Lanham-New ym. 2011). Perusaineenvaihduntaan kuluvasta energiasta noin kaksi kolmasosaa käytetään kehon sisäisen lämpötilan ylläpitämiseen 37 celsiusasteessa (Lam ja Ravussin 2016). Yhden celsiusasteen nousun on arvioitu suurentavan metabolista tasoa 10–13 %. Ihmisen elimistön lämpötila on kuitenkin tarkasti säädelty ja se vaihtelee vain noin $\pm 0,2$ C°. Tästä syystä kehon sisäinen lämpötila ei todennäköisesti vaikuta merkittävästi perusaineenvaihdunnan muutoksiin ja energiatasapainoon. Ympäristön lämpötila voi kuitenkin aiheuttaa muutoksia perusaineenvaihdunnan tasossa. Ympäristön lämpötilan muutokset kehon normaalilämpötilasta poikkeaviksi aktivoi lämmönsäätelyjärjestelmää, mikä suurentaa aineenvaihdunnan aktiivisuutta.

Kehonkoostumuksen vaikutus energiankulutukseen perustuu siihen, että kudosten aineenvaihdunnan aktiivisuus ja siten energiankulutus eroavat toisistaan (Stiegler ym. 2006). Rasvakudoksen aktiivisuus on vähäistä ja rasvaton kudos vastaa suuremmasta osasta perusaineenvaihdunnasta. Rasvattomaan kudokseen kuuluvat luu- ja sidekudos, elimet ja lihaskudos. Elinten energiankulutus on suurta suhteessa niiden osuuteen kehonpainosta (Lazzer ym. 2010). Esimerkiksi munuaisten ja sydämen osuus on molempien osalta 35 % suurempi ja aivojen 20 % kuin lihaskudoksen. Tämän vuoksi niiden osuus perusaineenvaihdunnasta on noin 60 % vaikka niiden osuus kehonpainosta on vain noin 7 %. Lihavuudessa sekä rasvattoman kudoksen että rasvakudoksen määrä lisääntyy, joten vuorokauden aikainen perusaineenvaihdunnan nopeus on suurempi kuin normaalipainoisilla (Lanham-New ym. 2011). Ihmisen ikääntyessä kehonkoostumuksessa tapahtuu muutoksia: rasvakudoksen suhteellinen osuus suurenee ja rasvattoman kudoksen pienenee, mikä pienentää perusaineenvaihdunnan nopeutta (Lazzer ym. 2010). Myös sukupuolien väliset erot energiankulutuksessa johtuvat pääasiassa eroista kehonkoostumuksessa. Miehillä rasvattoman kudoksen suhteellinen ja absoluuttinen määrä on suurempi, joten myös perusaineenvaihdunnan nopeus on suurempi kuin naisilla.

Termogeenin aiheuttaman energiankulutuksen osuus on 5–15 % vuorokauden aikaisesta energiankulutuksesta (Pinheiro Volp ym. 2011). Ravinnon sisältämät energiaravintoaineet vaikuttavat ruoan aiheuttaman termogeenin suuruuteen. Energiaravintoaineista proteiineilla on suurempi termogeeninen vaikutus kuin hiilihydraateilla tai rasvoilla, sillä sen käsittely kuluttaa enemmän energiaa (Pinheiro Volp ym. 2011). Tämä johtuu mm. siitä, että elimistön

kyky varastoida proteiinia on rajallinen ja proteiinin saannin kasvaessa ylimääräisten aminohappojen poistaminen vaatii energiaa (Paddon-Jones ym. 2008).

Muita mahdollisia ruoan termogeneesiä sääteleviä tekijöitä ovat mm. sympaattisen hermoston stimulaatio, fyysinen aktiivisuus ja kehonkoostumus (Pinheiro Volp ym. 2011). Ruoan aiheuttaman termogeneesin mahdollisista eroista ylipainoisilla ja normaalipainoisilla on saatu ristiriitaista tietoa (Lanham-New ym. 2011). Siitä, onko ylipainoisilla henkilöillä ruoan aiheuttaman termogeneesin vaikutus perusenergiankulutukseen pienempää kuin normaalipainoisilla, ei ole yhtenevää näkemystä. Ruoan aiheuttaman termogeneesin vaikutus vuorokauden aikaiseen energiankulutukseen on pieni, mutta pienilläkin eroilla on merkitystä pitkällä aikavälillä energiatasapainon kannalta. Painonpudotus laskee ruoan aiheuttamaa termogeneesiä, ja vaikutus säilyy myös painonpudotuksen jälkeen, mikä voi edesauttaa kehonpainon palautumista alkuperäiseen painoon (Haslam ja Witters 2009). Yksilön fyysisen aktiivisuuden tasoon, sekä tiedostettuun että spontaaniin, vaikuttavat monet eri tekijät, kuten perimä, ikä, sukupuoli, biokemialliset ja psyykkiset tekijät sekä ympäristön ärsykkeet (Lam ja Ravussin 2016). Sen osuus vuorokauden aikaisesta energiankulutuksesta riippuu yksilön aktiivisuuden tasosta. Paljon liikkuvilla yksilöillä se voi olla jopa 50 % vuorokauden energiankulutuksesta, kun taas vähän liikkuvilla yksilöillä osuus voi olla 15 %.

2.3 ENERGIANKULUTUKSEN NEUROENDOKRIINEN SÄÄTELY

Elimistön fysiologinen säätelyjärjestelmä säätelee energiatasapainoa ja ylläpitää kehon energiavarastoja, joista suurin on rasvakudos (Haslam ja Witters 2009). Ravintoaineiden sulatus ja imeytyminen vaikuttavat energiatasapainosta viestiviin hormonaalisiin ja neuraalisiin signaaleihin, joiden perusteella keskushermosto säätelee rasvakudoksen, luustolihasten, maksan, haiman ja suoliston toimintaa. Energiansaannin väheneminen herättää nopeasti säätelyjärjestelmän vastatoimet, jolloin energiankulutus laskee ja ihmisen näläntunne kasvaa, jolla pyritään palauttamaan paino lähtötilanteen tasolle ja turvaamaan energiavarastot.

Rasvakudoksen tuottama leptiini-hormoni säätelee pitkän aikavälin energiansaannin ja energiankulutuksen välistä tasapainoa (Sperling 2014). Rasvakudoksen tuottama leptiini välittää ventromediaaliseen hypotalamuksen kautta tietoa keskushermostolle perifeerisen rasvakudoksen suuruudesta. Energiavarastojen pienentyessä leptiinin erityös laskee, mikä hypotalamuksen kautta hidastaa aineenvaihduntaa, lisää nälän tunnetta ja vähentää sympaattisen hermoston aktiivisuutta ja siten laskee energiankulutusta. Seerumin korkea leptiinipitoisuus taas vähentää nälän tunnetta ja lisää energiankulutusta. Energiansaannin ja -

kulutuksen ollessa tasapainossa seerumin leptiini -taso on suoraan yhteydessä kehon rasvapitoisuuteen.

Kilpirauhasten erittämällä kilpirauhashormoneilla, tyroksiinilla (T4), sen aktiivisella muodolla trijodityroniinilla (T3), ja toisaalta inaktiivisella rT3-muodolla, on tärkeä rooli ihmisen energia-aineenvaihdunnassa (Norman ja Henry 2015). Hypotalamuksen erittämä tyreotropiinia vapauttava hormoni (TRH) lisää tyreotropiinin, eli kilpirauhasta stimuloivan hormonin (TSH), eritystä aivolisäkkeestä. Tyreotropiini puolestaan säätelee kilpirauhashormonien tuotantoa ja eritystä kilpirauhasesta. Veren kilpirauhashormonien kohonnut pitoisuus vuorostaan laskee TRH:n ja TSH:n eritystä. Kilpirauhashormonit säätelevät hapenkulutusta, perusaineenvaihduntaa ja rasvojen, proteiinien ja hiilihydraattien aineenvaihduntaa. Vaikutus välittyy usein sekundaarisesti erilaisten kasvutekijöiden ja hormonien kautta. Lähes kaikissa elimistön kudoksissa ilmenee reseptoreita aktiiviselle T3-muodolle, mikä kertoo kilpirauhashormonien laaja-alaisesta vaikutuksesta elimistössä.

Energiankulutusta lisäävien anoreksigeenisten peptidien ja hormonien vaikutus toteutuu sympaattisen hermoston aktivaation kautta (Sperling 2014). Sympaattinen hermosto lisää energiankulutusta vähentämällä hypotalamuksen kautta ruokahalua, lisäämällä tyreotropiinin eritystä, aktivoimalla luustolihasien energiankulutusta ja stimuloimalla adrenergisiä β 3-reseptoreja rasvakudoksessa, mikä lisää lipolyysiä. Oreksigeeninen vaikutus taas lisää syömistä vagushermon kautta. Sen perifeerisenä vaikutuksena sydämen syke laskee, ruoansulatuskanavan peristalttinen liike ja energiaravintoaineiden imeytyminen tehostuu. Rasvakudoksen insuliiniherkkyys paranee, mikä edesauttaa energian varastoitumista rasvakudoksena. Lisäksi energian varastoitumista tehostaa se, että haiman beetasolujen toiminta tehostuu, mikä puolestaan lisää aterian jälkeistä insuliinin eritystä.

3 PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEEN

Tässä osiossa kuvatut tutkimukset painonpudotuksen vaikutuksesta energiankulutuksen eri osaluokkiin on koottu liitteeseen 1. Kehonpainon muutokset aiheuttavat myös muutoksia energiankulutuksessa (Lam ja Ravussin 2016). Esimerkiksi painonpudotuksessa lepoina-aineenvaihdunta pienenee rasvattoman kudoksen ja rasvakudoksen vähenemisen myötä. Kuitenkin tutkimuksissa on havaittu painonpudotuksen yhteydessä energiankulutuksen

pienenemistä, joka on suurempaa kuin kehonkoostumuksen ja kehonpainon muutoksen perusteella voisi laskennallisesti olettaa. Ilmiöstä käytetään usein nimitystä metabolinen adaptaatio tai adaptiivinen termogeneesi (Fothergill ym. 2016). Sen ajatellaan toimivan kehon vastareaktiona painonpudotukselle ja edesauttavan painonnousua. Painonpudotuksen ja pudotetun painon ylläpidon vaikutus energiankulutuksen eri osa-alueisiin, eli vuorokauden aikaiseen energiankulutukseen, lepoaineenvaihduntaan, fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaan energiankulutukseen ja ruoan termogeneesin aiheuttamaan energiankulutukseen, vaihtelee eri tutkimuksissa. Tässä kirjallisuuskatsauksessa painonpudotuksen vaikutusta ruoan termogeneesin aiheuttamaan energiankulutukseen ei käsitellä, sillä sitä ei ole liitteen 1. tutkimuksissa huomioitu, lukuun ottamatta Leibel ym. (1995) tutkimusta, jossa painonpudotus ei vaikuttanut merkittävästi termogeneesin aiheuttamaan energiankulutukseen.

3.1 VUOROKAUDEN AIKAINEN ENERGIANKULUTUS

Vuorokauden aikaisen energiankulutuksen on havaittu pienenevän merkittävästi enemmän, kuin rasvattoman kudoksen ja rasvakudoksen muutosten laskennallisen arvion perusteella voisi olettaa (Leibel ym. 1995, Weyer ym. 2000, van Gemert ym. 2000). Leibelin ym. (1995) tutkimuksessa ylipainoisten ja ei-ylipainoisten tutkittavien vähintään 10 % painonpudotuksen seurauksena tutkittavien energiankulutus pieneni 15 % alhaisemmaksi kuin kehonkoostumuksen muutosten perusteella oltiin laskennallisesti oletettu. Tutkittavien vuorokauden aikainen energiankulutus, lepoaineenvaihdunta ja fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus pienenevät, mikä olisi tutkimuksen jatkuessa voinut ohjata painoa painonmuutosta edeltäviin lukemiin.

Sen lisäksi, että vuorokauden aikainen energiankulutus laskee oletettua enemmän, vaikutus näyttäisi myös säilyvän pitkällä aikavälillä (Weyer ym. 2000, Van Gemert ym. 2000). Weyer ym. (2000) tutkivat pitkäaikaiseen kohtuullisen kalorirajoituksen vaikutusta energiankulutukseen. Tutkimuksessa neljä tervettä miestä ja naista elivät omavaraisesti keinotekoisessa suljetussa ekosysteemissä, Biosfääri 2:a. Kahden vuoden mittaisen energiamäärältään rajoitetun ruokavalion ja 18 kuukauden ajan ylläpidetyn keskimäärin 15 %:n painonpudotuksen jälkeen tutkittavien vuorokauden aikainen energiankulutus oli merkittävästi pienempi, kuin oltiin sukupuolen, iän ja kehonkoostumuksen perusteella oletettu. Myös unen aikainen energiankulutus oli oletettua pienempi. Spontaani fyysinen aktiivisuus pieneni merkittävästi. Kuusi kuukautta tutkimuksen jälkeen tutkittavien kehonpaino oli palautunut

tutkimusta edeltäviin lukemiin, pääosin rasvakudoksen lisääntymisen seurauksena. Kehonpainon palautumisesta huolimatta vuorokauden aikainen energiakulutus ja spontaani fyysinen aktiivisuus säilyivät alhaisempina kuin oltiin oletettu. Muissa liitteen 1. tutkimuksista energiansaannin rajoitus on suurta, esim. Leibel ym. (1995) tutkimuksessa energiansaanti on 800 kcal/vrk, joten Weyer ym. (2000) tutkimus antaa arvokasta tietoa kohtuullisen energiansaannin rajoituksen vaikutusta. Tulosten perusteella myös kohtuullinen energiansaannin rajoitus pienentää vuorokauden aikaista energiankulutusta pitkällä aikavälillä, vaikka tutkittavien paino palautuisi entisiin lukemiin.

Van Gemert ym. (2000) tutkimuksessa lihavuusleikkauksen läpikäyneiden tutkittavien vuorokauden aikaisen energiankulutuksen pieneneminen säilyi vuoden mittaisen painonpudotuksen ajan. Vuorokauden aikaisen energiankulutuksen hidastumisesta vastasi pääosin unen aikainen energiankulutus, joka rasvattomaan kudokseen suhteutettuna pieneni yli oletetun. Myös eräessä toisessa lihavuusleikkaustutkimuksessa tutkittavien ikään ja kehonkoostumuksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni enemmän kuin oltiin laskennallisesti odotettu (Tamboli 2010). Vaikutus ei kuitenkaan säilynyt pitkäaikaisesti ja mitatun ja odotetun lepoaineenvaihdunnan välillä ei enää 12 kuukauden jälkeen ollut merkittävää eroa. Vastakkaista tietoa saatiin myös Das ym. (2003) tutkimuksessa, jossa lihavuusleikkauksen aikaansaama painonpudotus ei pienentänyt energiankulutusta enemmän kuin kehonkoostumuksen ja -painon muutosten perusteella oli oletettu.

3.2 LEPOAINEENVAIHDUNTA

Painonpudotuksen vaikutuksista lepoaineenvaihduntaan on sen sijaan saatu toisistaan eroavia tuloksia. Osassa tutkimuksista painonpudotus on pienentänyt lepoaineenvaihduntaa merkittävästi kehonkoostumuksen muutoksiin suhteutettuna (Camps ym. 2013, Johannsen ym. 2012, Leibel ym 1995) ja toisissa merkitseviä muutoksia ei ole havaittu (Amatruda ym. 1993, Weinsier ym. 2000, Wyatt ym. 1999). Johannsen ym. (2012) tutkimuksessa seurattiin Suurin pudottaja –tosi-tv-kilpailuun osallistuvia sairaalloisen lihavia kilpailijoita. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko painonpudotusohjelmalla, jossa ruokavalion energiamäärää rajoitetaan tiukasti ja liikuntaa on runsaasti, edesauttaa rasvattoman kudoksen säilymistä merkittävän painonpudotuksen aikana ja ylläpitää lepoaineenvaihduntaa. Suurin pudottaja -kilpailijoiden rasvaton kudokse säilyi suhteellisen hyvin ja sen osuus painonpudotuksesta oli alle 18 %. Tutkijat pitivät todennäköisenä, että rasvattoman kudoksen säästyminen oli seurausta

kuntoharjoittelun ylläpitämästä ja mahdollisesti lisäämästä lihasmassasta. Rasvattoman kudoksen säilymisestä huolimatta kehonkoostumuksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni 6 viikon jälkeen 244 ± 231 kcal/vrk enemmän kuin oltiin kehonkoostumuksen ja –painon perusteella oletettu. 30 viikon jälkeen lepoaineenvaihdunta oli 504 ± 171 kcal/vrk pienempi kuin oltiin oletettu.

Knuth ym. (2014) vertasivat edellä mainittuja Suurin pudottaja –kilpailijoita (Johannsen ym. 2012) Roux-en-Y mahalaukun ohitusleikkauspotilaisiin (Tamboli ym. 2010). Kolmelletoista Suurin pudottaja -kilpailijoille valittiin iän, sukupuolen, painoindeksin ja painon suhteen verrannollinen pari mahalaukun ohitusleikkauksen läpikäyneistä potilaista. Tutkijat halusivat selvittää eroavien painonpudotusmenetelmien vaikutusta rasvattoman kudoksen säilymiseen ja lepoaineenvaihdunnan ylläpitoon. Suurin pudottaja -kilpailijoiden kehonkoostumuksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni enemmän kuin lihavuusleikkauspotilaiden, huolimatta siitä, että molempien ryhmien painonpudotus oli merkittävä ja Suurin pudottaja –kilpailijoiden rasvattoman kudoksen osuus pudotetusta painosta oli huomattavasti pienempi. Suurin pudottaja –kilpailijoilla ikään, rasvakudoksen ja rasvattoman kudoksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni 7 kuukauden kuluttua lähtötilanteesta 419 ± 169 kcal/vrk enemmän kuin oli oletettu. Lihavuusleikkauspotilailta 6 kuukauden kuluttua leikkauksesta ikään, rasvakudoksen ja rasvattoman kudoksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni 201 ± 182 kcal/vrk, eli merkittävästi vähemmän kuin Suurin pudottaja -kilpailijoilla. Lisäksi lihavuusleikkauspotilaiden 12 kuukauden kuluttua mitatun ja odotetun lepoaineenvaihdunnan välillä ei ollut merkittävää eroa, vaikka painonpudotus jatkui. Tulosten perusteella rasvattoman kudoksen säilyttäminen merkittävän painonpudotuksen yhteydessä ei edesauttanut lepoaineenvaihdunnan ylläpitämistä.

Toisin kuin lihavuusleikkauspotilailta, joilla metabolista adaptaatiota ei enää ollut havaittavissa 12 kuukauden jälkeen (Knuth ym. 2014), Suurin pudottaja -kilpailijoilla lepoaineenvaihdunnan muutokset säilyivät pitkällä aikavälillä (Fothergill ym. 2016) Suurin pudottaja -kilpailijoilla toteutetussa seurantatutkimuksessa kilpailijoiden paino oli noussut kuuden vuoden jälkeen keskimäärin 41.0 ± 31.3 kg, mutta yksilöiden välillä oli paljon vaihtelua. Kaikkien paitsi yhden tutkittavan paino nousi jossain määrin ja viiden tutkittavan paino oli noussut kilpailua edeltävään painoon tai sen yläpuolella. Lepoaineenvaihdunta ei kuitenkaan suurentunut painon nousun mukana, vaan se pieneni lähtötilanteesta entisestään. Lepoaineenvaihdunta oli vielä kuuden vuoden jälkeenkin keskimäärin 500 kcal/vrk pienempi kuin kehonkoostumuksen

muutosten ja tutkittavien ikääntymisen perusteella oltiin odotettu. Alkuperäisessä tutkimuksessa metabolisen adaptaation voimakkuus korreloi painonpudotuksen kanssa ja kilpailun lopussa eniten painoa pudottaneilla kilpailijoilla myös lepoaineenvaihdunta laski eniten (Johannsen ym. 2012). Myös seurantatutkimuksessa painonpudotuksen tulokset parhaiten säilyttäneet kokivat myös voimakkainta metabolista adaptaatiota (Fothergill ym. 2016).

On kuitenkin myös näyttöä, jossa lepoaineenvaihdunnan pieneneminen ei ollut merkittävää (Amatruda ym. 1993, Weinsier ym. 2000, Weigle ym. 1998). Weinsier ym. (2000) tutkimuksessa painoan pudottaneiden ylipainoisten tutkittavien kehonkoostumukseen suhteutettu vuorokauden aikainen energiankulutus, lepoaineenvaihdunta ja unen aikainen energiankulutus eivät pienentyneet oletettua enempää. Amatruda ym. (1993) tutkimuksessa painoan pudottaneiden lihaviin tutkittavien vuorokauden aikaisessa energiankulutuksessa tai lepoaineenvaihdunnassa ei ollut merkittäviä eroja verrattuna kontrolliryhmäläisiin, jotka eivät koskaan olleet lihavia. Astrup ym. (1999) meta-analysissä painonpudotuksen aiheuttama muutos lepoaineenvaihduntaan oli pieni. Entisten lihaviin tutkittavien kehonkoostumuksen ja painon muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta oli 3–5 % matalampi kuin kontrolliryhmällä.

Leibel ym. (1995) tutkimuksessa 10 % painonpudotus laski vuorokauden aikaista energiankulutusta, lepoaineenvaihduntaa ja fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa energiankulutusta. Tutkittavien energiankulutus ei muuttunut enää merkittävästi, kun painoa pudotettiin edelleen 10 %. Tämä eroaa Suurin pudottaja -kilpailijoilla toteutetun tutkimusten tuloksista, jossa metabolisen adaptaation voimakkuus korreloi painonpudotuksen kanssa (Fothergill ym. 2016).

3.3 FYYSISEN AKTIIVISUUDEN AIHEUTTAMA ENERGIANKULUTUS

Leibel ym. (1995) tutkimuksessa kehonpainon muutos pienensi eniten fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa energiankulutusta. Ilmiötä voisi selittää se, että pienemmän kehonpainon liikuttaminen vaatii vähemmän energiaa kuin suuremman kehonpainon. Tutkijat eivät pitäneet selitystä riittävänä, sillä lihavilla ja hoikilla tutkittavilla oli heidän alkuperäisessä painossaan lähes saman suuruinen vuorokaudenaikainen energiankulutus, suhteutettuna sekä rasvakudokseen että rasvattomaan kudokseen. Tutkijat arvelivat, että yhtenä selittävänä tekijänä voi olla luustolihasien työskentelyn tehokkuuden vaihtelu eri kehonpainoissa.

Myöhemmin toteutetussa toisessa tutkimuksessa 10 % painonpudotuksen havaittiin suurentavan luustolihasen työskentelyn tehokkuutta matalatehoisen rasituksen aikana (Rosenbaum ym. 2003). Luustolihasen työskentelyn tehokkuuden muutos vastasi merkittävästä osasta painonpudotuksen aiheuttamasta muutoksesta fyysisen aktiivisuuden aiheuttamassa energiankulutuksessa. Vaikutukset olivat kaikkein näkyvimpiä matalan tason fyysisessä aktiivisuudessa, mikä vastaa arkielämän tavanomaista fyysistä aktiivisuutta.

3.4 PAINONPUDOTUKSEN VAIKUTUS ENERGIANKULUTUKSEN NEUROENDOKRIINISEEN SÄÄTELYYN

Painonpudotuksen aiheuttaman metabolisen adaptaatiota selittävänä tekijänä voi olla neuroendokriinisessä toiminnassa tapahtuvat muutokset. On saatu viitteitä siitä, että etenkin sympaattisen hermoston aktiivisuuden, veren leptiini-pitoisuuden ja trijodityroniinin (T3) pitoisuuden lasku ovat tärkeitä tekijöitä aineenvaihdunnan hidastumisessa (Müller ja Bosy-Westphal 2013, Rosenbaum ja Leibel 2010). Painonpudotuksen ylläpidon yhteydessä on havaittu sympaattisen hermoston toimintavireyden laskua ja parasympaattisen hermoston toimintavireyden nousua (Arone ym. 1995, Arone ym. 1997, Rosenbaum ym. 2000). Erityisesti sympaattisen hermoston lasku voi vastata merkittävästä osasta painonpudotuksen yhteydessä ilmenevästä metabolisesta adaptaatiosta.

Seerumin T3-pitoisuuden on havaittu pienentyvän painonpudotuksen seurauksena ja vastaavasti suurentuvan painonnousun yhteydessä (Danforth ym. 1984, Danforth ym. 1979, Jung ym. 1980, Vagenakis ym. 1975, Wimpfheimer ym. 1979). Rosenbaum ym. (2000) tekemässä tutkimuksessa verrattiin lihavia tutkittavia ja tutkittavia, jotka eivät koskaan olleet lihavia, heidän normaalissa painossaan, painonpudotuksen tai painonnousun aikana ja painon ollessa tasapainossa 10 % tai 20 % alkuperäisen painon ylä- tai alapuolella. Painonpudotus ja sen ylläpito laskivat merkittävästi seerumin T3-pitoisuutta ja suurensivat seerumin rT3-pitoisuutta. rT3-pitoisuuden nousu viittaa siihen, että T4:n muuntaminen rT3-muotoon kiihtyy. Painonpudotus laski myös tutkittavien TSH- pitoisuutta, mutta ei merkittävää määrää.

Johannsen ym. (2012) Suurin pudottaja –kilpailijoita käsittelevässä tutkimuksessa tutkittavien T3-pitoisuus pieneni 44 % painonpudotuksen aikana. T4-pitoisuudessa ja TSH-pitoisuudessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. Tutkittavilla, joilla T3-pitoisuus laski vähiten, TSH-pitoisuus suureni eniten. Knuth ym. (2014) tutkimuksessa yhdeksälle Suurin pudottaja -

kilpailijalle valittiin toisesta tutkimuksesta mahalaukun ohitusleikkauksen läpikäyneet parit ja verrattiin ryhmiä toisiinsa. Kilpirauhashormonien pitoisuudet olivat molemmilla ryhmillä ennen interventiota verrattain samanlaiset. Painopudotuksen jälkeen mahalaukun ohitusleikkauspotilailla TSH-, T4- tai T3-pitoisuus eivät muuttuneet merkittävästi. Myös Weyer ym. (2000) tutkimuksessa plasman T3-pitoisuus pieneni energiansaanninrajoituksen seurauksena. Intervention jälkeisen painonnousun jälkeen T3-pitoisuus oli merkitsevästi pienempi kuin intervention aikana, mutta erot eivät olleet enää suuria 9 kuukauden kuluttua. Tutkittavien T4-pitoisuus oli myös matalampi intervention aikana kuin sen jälkeen, mutta erot eivät olleet merkitseviä.

Painonpudotus näyttäisi laskevan leptiini-pitoisuutta merkittävästi (Johannsen ym. 2012, Weigle ym. 1997). Johannsen ym. (2012) tutkimuksessa tutkittavien plasman leptiini-pitoisuus oli lähtötilanteessa 43 ng/ml ja 30 viikon kuluttua vähemmän kuin 3 ng/ml. Fothergill ym. (2016) seurantatutkimuksessa tutkittavien leptiini-pitoisuus oli huomattavasti matalampi kuin lähtötilanteessa ennen painonpudotusta, vaikka tutkittavien paino oli noussut melkein lähtötilanteen aikaisiin lukemiin. Rosenbaum ym. (1997) tutkimuksessa energiansaanninrajoituksen lisäksi painonpudotuksen ylläpito pienensi plasman leptiini-pitoisuutta. Plasman leptiini-pitoisuuden lasku suhteutettuna rasvakudokseen määrään oli merkittävää painonpudotuksen yhteydessä verrattuna painon ylläpitoon tavanomaisessa kehonpainossa. Plasman leptiinin muutokset eivät korreloineet merkittävästi energiankulutuksen muutosten kanssa, jotka mitattiin 10 % ja/tai 20 % painonpudotuksen jälkeen. Leptiini ei tämän perusteella vaikuttaisi olevan määräävä tekijä, joka ohjaa energiankulutuksen muutoksia painonpudotuksen yhteydessä.

Eläinkokeissa (Guo ym. 2004, Harris ym. 2001, Kim ym. 2000) energiansaannin rajoitus laski plasman leptiini-pitoisuutta, mikä vähensi TRH:n geeniekspressiota, mutta vaikutus voitiin kumota antamalla leptiiniä lääkehoitona. Ihmisille annetun leptiinihoidon vaikutukset kertovat myös leptiinin merkityksestä metabolisessa adaptaatiossa. Leptiinihoito yksittäisenä tekijänä ei ole tehokas keino painonpudotuksen tukemisessa (Rosenbaum ja Leibel 2014). Suurista annoksista leptiiniä energiansaannin rajoituksen yhteydessä voi olla hyötyä, sillä se mahdollisesti pitkittää painonpudotusjakson pituutta tai suurentaa pudotetun painon määrää. Leptiinihoito vaikuttaisi kuitenkin toimivan tehokkaammin painonpudotuksen jälkeisen painon ylläpidon tukemisessa. Tutkittavilla, joilla oli vähintään 10% painonpudotuksen jälkeen matala leptiini-pitoisuus, pienet leptiini-annokset edesauttoivat laihtumista edelleen sekä vähensivät painonpudotuksen vaikutuksia muihin fysiologisiin muutoksiin, kuten seerumin T3-

pitoisuuden laskua, sympaattisen hermoston aktiivisuuden laskua ja luustolihas-ten työskentelyn tehokkuuden nousua (Rosenbaum ym. 2005, Rosenbaum ym. 2008).

4 POHDINTA

Tässä kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen tutkimusten perusteella metabolinen adaptaatio laihdutuksen seurauksena on ristiriitainen ilmiö. Suurimmassa osassa tutkimuksissa energiankulutus pieneni painonpudotuksen vaikutuksesta enemmän kuin kehonkoostumuksen ja painon muutosten perusteella oltiin laskennallisesti odotettu. Osassa tutkimuksista merkittävää muutosta ei kuitenkaan havaittu. Tutkimuksia tarkastellessa tulee huomioida se, että yleensä niiden otoskoko oli pieni. Kaikki tutkimukset eivät olleet kontrolloituja ja yksikään ei ollut satunnaistettu. Myös tutkimusten toteutus vaihtelee merkittävästi, esim. ruokavalion, liikunnan, tutkimuksen keston, tutkittavien lähtöpainon, pudotetun painon määrän ja mittausmenetelmien suhteen, joten niiden vertaaminen toisiinsa on haasteellista. Kirjallisuuskatsauksessa käsitellään myös tutkimuksia, joiden olosuhteet ovat hyvin poikkeavia, eikä niiden toistaminen ole välttämättä mahdollista ja tulosten yleistettävyys on jossain määrin kyseenalaista.

Suurempi otoskoko lisäisi tutkimusten luotettavuutta, mutta sitä vaikeuttaa mm. energiankulutuksen mittausten vaatimat ajalliset ja rahalliset resurssit. Satunnaistaminen on tämän tyyppisissä tutkimuksissa haastavaa eettisten ongelmien vuoksi, esim. tutkittavia ei voida satunnaistaa lihavuusleikkauksen läpikäyvään ryhmään, vaan heidät täytyy valita lihavuusleikkauspotilaista. Kontrolliryhmän käytössä oleellista on sen verrannollisuus tutkimusryhmään, esim. sukupuolen, iän, painon ja kehonkoostumuksen suhteen. Perimä vaikuttaa merkittävästi lepoaineenvaihdunnan suuruuteen. Sitä on kuitenkin tutkimuksessa haastavaa kartoittaa, mikä tulisi tuloksia analysoidessa huomioida. Kun tutkitaan energia-aineenvaihduntaa, johon vaikuttaa monet eri tekijät, merkitystä voi olla myös sillä, eroako kontrolliryhmä tutkittavista liikuntamäärän suhteen tai ovatko kontrolliryhmäläiset koskaan olleet lihavia. Osassa tutkimuksista kontrolliryhmään valittiin tutkittavia, jotka eivät koskaan olleet olleet lihavia, kun taas osassa kontrolliryhmän painohistoriaa ei mainittu. Kontrolliryhmän fyysiseen aktiivisuuteen ei tutkimuksissa kiinnitetty huomioita, mikä voi kuitenkin olla merkittävä tekijä energiankulutuksen muutosten taustalla (Leibel ym. 1995, Rosenbaum ym. 2003). Tutkimusryhmien liikuntaan ei myöskään kaikissa tutkimuksissa vaikutettu, mutta

osassa siihen kannustettiin ja osassa tutkittavia kehoitettiin ylläpitämään liikuntamäärät samana tutkimuksen ajan ja esimerkiksi Johannsen ym. (2012), tutkimuksessa sitä lisättiin runsaasti.

Erityisen tärkeää on huomioida tutkimusten vaihtelu tutkittavien lähtöpainon ja painopudotuksen määrän ja ajan suhteen. Tutkimuksissa oli normaalipainoisia, ylipainoisia, lihavia ja sairaalloisen lihavia tutkittavia, mikä vaikuttaa suuresti tutkimusten vertailukelpoisuuteen. Myös pudotetun painon määrä ja siihen kulunut aika vaihteli. Painonpudotusjakson pituus vaihteli 4 viikosta 12 kuukauteen. Painonpudotus toteutettiin usein tiukalla energiansaannin rajoituksella, joka useassa tutkimuksessa oli 800 kcal/vrk ja matalimmillaan jopa 420 kcal/vrk. Osassa ruokavaliota ei ollenkaan käsitelty, esim. Wyatt ym. (1999) valitsivat National Weight Control -rekisteristä 40 painoan pudottanutta ja sitä vähintään vuoden ylläpitänyttä entistä lihavaa, jolloin painonpudotuksen aikaisesta ruokavaliosta tai energiansaannin rajoituksesta ei ollut tietoa. Myöskään Das ym. (2003) tutkimuksessa, jossa seurattiin lihavuusleikkauksen jälkeisen painonpudotuksen vaikutusta energiankulutukseen, ei tutkittavien ruokavaliota selvitetty tai siihen vaikutettu. Huomioitavaa on myös se, kuinka kauan lähtöpainoa ja pudotettua painoa ylläpidettiin ennen mittausten tekemistä, sillä sekin voi vaikuttaa mittausten tuloksiin. Tämä vaihteli tutkimuksissa 14 päivästä noin yhteen vuoteen asti.

Vaikka tässä kirjallisuuskatsauksessa käsitellyistä tutkimuksista saatiin ristiriitaista tietoa metabolisen adaptaation ilmenemisestä, osassa tutkimuksissa havaittua energiankulutuksen pienenemistä ei tulisi jättää huomiotta (Leibel ym. 1995, Johannsen ym. 2012, Weyer ym. 2000, Camps ym. 2013). Tulokset voivat selittää painonpudotuksen jälkeisen painonhallinnan vaikeutta ja antavat viitteitä siitä, että ihmisen elimistössä on säätelymekanismeja, jotka pyrkivät estämään muutoksia kehonpainossa. Esim. Suurin pudottaja –tutkimuksen kilpailijoilla ilmennyt voimakas metabolinen adaptaatio voi vaikeuttaa merkittävästi painonpudotusta ja sen ylläpitoa. Myös pienempi energiankulutuksen tason lasku voi olla oleellinen tekijä painohallinnassa, sillä pienilläkin muutoksilla energiatasapainossa voi olla merkitystä pitkällä aikavälillä. Tämä tieto voi olla tärkeää lihavuuden taustatekijöiden ymmärtämisessä ja sen huomioiminen esim. terveydenhuollon ammattilaisten toimesta voi edesauttaa lihavuuden hoitoa, erityisesti painon ylläpidon yhteydessä. Metabolisen adaptaation mahdollisuus tarkoittaa myös sitä, että energiankulutuksen yksilöllisyyttä tulisi korostaa. Koska metabolista adaptaatiota on vaikea selvittää tai ennakoita, ei terveyden huollon ammattilaisen tulisi liikaa tukeutua ennalta määriteltäviin energiantarpeen laskelmiin, vaan löytää asiakkaan

kanssa yksilöllisesti hänelle sopiva ruokavalion energiamäärä, joka tukee hänen energiatasapainoaan.

Vaikka metabolinen adaptaatio ei ollut kaikissa tutkimuksissa pitkäaikainen ilmiö, voi sillä olla lyhyelläkin aikavälillä merkitystä. Esim. Tamboli ym. (2010) tutkimuksessa 6 kk jälkeen lihavuusleikkauksesta ikään, rasvakudoksen ja rasvattoman kudoksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni 201 ± 182 kcal/vrk enemmän kuin oli kehonkoostumuksen ja painon muutosten perusteella oletettu, mutta 12 kk jälkeen mitatun lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumuksen ja painon muutosten perusteella odotetun lepoaineenvaihdunnan välillä ei ollut enää merkittävää eroa. Silti lepoaineenvaihdunnan pieneneminen yli odotusten on tärkeää huomioida lihavuusleikkauksen jälkeisenä aikana tekijänä, joka voi muuttaa energiantarvetta ja hidastaa painonpudotusta.

Osassa tutkimuksissa metabolinen adaptaatio kuitenkin säilyi myös pitkällä aikavälillä, mikä on oleellista painon ylläpidon kannalta (Fothergill ym. 2016, Weyer ym. (2000), Camps ym. 2013). Camps ym. (2000) tutkimuksessa lepoaineenvaihdunta pieneni enemmän kuin oltiin oletettu ja muutos näkyi vielä 52 viikon kuluttuakin. Weyer ym. (2000) tutkimuksessa tutkittavien vuorokauden aikainen energiankulutus pieneni enemmän kuin oltiin oletettu ja vaikutus oli näkyvässä vielä kuuden kuukauden jälkeen. Useassa tutkimuksessa energiansaantia rajoitettiin voimakkaasti, esim. 501 kcal/vrk (Camps ym. 2000) tai 800 kcal/vrk (Leibel ym. 1995). Kuitenkin Weyer ym. (2000) tutkimuksessa myös kohtuullinen energiansaannin rajoitus pienensi vuorokauden aikaista energiankulutusta enemmän kuin iän, sukupuolen ja kehonkoostumusten muutoksien perusteella oltiin oletettu. Tosin painonpudotus tapahtui kuudessa kuukaudessa, kun taas useissa tutkimuksissa, joissa energiansaannin rajoitus oli suurempaa, myös painonpudotusjakso oli lyhyempi, esim. 8 viikkoa (Camps ym. 2000) tai 4–14 viikkoa (Leibel ym. 1995). Lisäksi erityistä oli se, että muutokset säilyivät huolimatta siitä, että paino oli palautunut interventiota edeltäviin lukemiin. Tämän perusteella myös pitkäaikainen kohtuullinen energiansaannin rajoitus voi aiheuttaa pitkäaikaista metabolista adaptaatiota, eikä painonpudotuksen jälkeinen painonnousu estä energia-aineenvaihdunnan muutoksia. Tulosten laajuutta ja luotettavuutta voi kuitenkin heikentää se, että tutkittaville ei suoritettu kehonkoostumuksen ja energiankulutuksen osalta mittauksia ennen intervention alkua, vaan ne ensimmäiset mittaukset tehtiin vasta kolme viikkoa ennen intervention päättymistä. Tämä johtui siitä, että energiankulutusta ei alun perin ollut tarkoitus tutkia, vaan se nousi yhdeksi tutkimusaiheeksi vasta, kun tutkittavien energiansaanti yllättäen rajoittui Biosfääri 2:a viljelyongelmien vuoksi.

Fothergill ym. (2016) tekemä tutkimus oli liitteessä 1. käsitellyistä tutkimuksista ja myös yleisesti aihepiiriä tutkivista tutkimuksista ainutlaatuisen pitkäaikainen tutkimus. Suurin pudottaja kilpailijoilla havaittu metabolinen adaptaatio (Johannsen ym. 2012) säilyi vielä kuuden vuoden jälkeenkin ja tutkittavien lepoaineenvaihdunta oli vieläkin keskimäärin 500 kcal/vrk pienempi kuin kehonkoostumuksen muutosten ja ikääntymisen perusteella oltiin laskennallisesti oletettu. Tutkittavien paino oli noussut keskimäärin 41.0 ± 31.3 kg eli samoin kuin Weyer ym. (2000) tutkimuksessa, tutkittavien painonnousu painonpudotuksen jälkeen ei estänyt metabolista adaptaatiota. Näiden tulosten perusteella metabolinen adaptaatio näyttäisi siis säilyvän yllättävän pitkäaikaisesti ja siinä määrin, että sillä on merkittävä vaikutus pudotetun painon ylläpitoon.

Erityistä Suurin pudottaja kilpailijoita käsittelevissä tutkimuksissa oli myös se, että metabolisen adaptaation voimakkuus korreloi pudotetun painon määrän kanssa (Johannsen ym. 2012), ja seurantatutkimuksessa parhaiten painonpudotuksen tulokset säilyttäneillä ilmeni myös voimakkainta metabolista adaptaatiota (Fothergill ym. 2016). Tutkijoiden mukaan tämä viittaa siihen, että elimistö pyrkii palauttamaan kehonpainon takaisin alkuperäisiin lukemiin metabolisen adaptaation avulla ja adaptaation määrä on suhteellinen kehonpainoon. Toisaalta Leibel ym. (1995) tutkimuksessa tutkittavien energiankulutus ei pienentynyt enää merkittävästi, kun painoa pudotettiin 10 % painonpudotuksen jälkeen vielä toiset 10 %. Vastakkaisiin tuloksiin voi vaikuttaa ero tutkimusasetelmassa ja tutkittavissa. Suurin pudottaja –kilpailijat olivat sairaalloisen lihavia, painonpudotus oli suurempi ja siihen sisältyi huomattava määrä rasittavaa liikuntaa. Energiavaje oli myös tutkimuksessa poikkeuksellisen suurta. Tutkittavia ohjattiin syömään niin, että se kattoi noin 70 % lähtötilanteen energiantarpeesta, mutta tutkimusta on kritisoitu siitä, että ympäristön paineet altistivat kilpailijat syömään vielä vähemmän. On arvioitu, että alimmillaan kilpailun aikana kilpailijat söivät keskimäärin vain 1300 kcal/vrk, vaikka tehokasta liikuntaa harjoitettiin noin 3 tuntia/vrk (Hall 2013). Nämä seikat tulee muutenkin huomioida, kun pohditaan tulosten yleistettävyyttä. Suurin pudottaja –kilpailussa on poikkeuksellinen ympäristö, massiivinen painonpudotus ja suuri määrä rasittavaa liikuntaa, mikä on harvoin mahdollista toteuttaa arkielämässä tai edes toistaa samanlainen asetelma tutkimuksissa, ja siten tuloksia ei voida suoraan yleistää vastaavaan väestöön.

Lihavuuden hoidossa suositellaan yleisesti liikuntaa yhdistettynä niukkaenergiseseen ruokavalioon, erityisesti painon ylläpitovaiheessa, koska sen on todettu tukevan painonhallintaa paremmin kuin pelkkä ruokavalio (Lihavuus (aikuiset), Käypä hoito-suositus 2011). Painonpudotuksen aikaisen liikunnan on oletettu edesauttavan rasvattoman kudoksen

säilymistä (Stiegler ja Cunliffe 2006, Ballor ja Poehlman 1994). Koska rasvaton kudosa on rasvakudosta aktiivisempaa ja kuluttaa enemmän energiaa, sen säilyttäminen painonpudotuksen aikana voisi myös ylläpitää lepoaineenvaihdunnan tasoa (Wang ym. 2000). Tämän vuoksi on erityisen mielenkiintoista, että Suurin pudottaja –tutkimuksen kilpailijoiden harjoittama runsas liikunta ja harvinaisen hyvin säästynyt rasvaton kudosa ei riittänyt estämään tai heikentämään metabolista adaptaatiota (Johannsen ym. 2012, Fothergill ym. 2016). Tämä korostui entisestään, kun kilpailijoita verrattiin lihavuusleikkauksen läpikäyneisiin tutkittaviin (Knuth ym. 2014). Lihavuusleikkauspotilaiden fyysinen aktiivisuus oli huomattavasti vähäisempää ja rasvaton kudosa väheni merkittävästi, keskimäärin 27.8 ± 10.2 %. Myös lihavuusleikkauspotilaiden lepoaineenvaihdunta pieneni yli oletetun, mutta muutos ei ollut pysyvä ja 12 kuukauden jälkeen mitatun lepoaineenvaihdunnan ja kehonkoostumuksen ja painon muutosten perusteella oletetun lepoaineenvaihdunnan välillä ei ollut enää eroa. Tämän perusteella liikunnasta ja rasvattoman kudoksen säästyminen ei riitä estämään tai merkittävästi heikentämään metabolista adaptaatiota.

Tulkintoja tehdessä tulee kuitenkin huomioida se, että vertailu tehtiin retrospektiivisesti ja tämän vuoksi tutkimukset on voitu toteuttaa niin, että ne eivät ole esim. mittausten menetelmien suhteen täysin verrannollisia (Knuth ym. 2014). Jälleen tulee myös kyseenalaistaa pitkälle viedyt tulkinnat sen vuoksi, että suurin pudottaja –tutkimuksen kilpailuasetelma on hyvin erikoislaatuinen. Poikkeuksellisen suuri energiavaje ja suuri määrä raskasta liikuntaa olivat mahdollisesti elimistölle niin suuri rasite, ettei liikunta ja rasvattoman kudoksen säästyminen riittänyt estämään energia-aineenvaihdunnan muutoksia. Tässä tapauksessa voisi olla mahdollista, että kohtuullisempi energiavajeella ja liikuntamäärillä ei olisi samaa vaikutusta ja liikunta tukisi painon ylläpitoa. Toisaalta Weyer ym. (2000) tutkimuksessa myös kohtuullinen energiansaannin rajoitus aiheutti pitkäaikaista energiankulutuksen pienenemistä. Tutkimus on myös liitteen 1. tutkimuksista ainoa, jossa fyysistä aktiivisuutta on runsaasti, mutta silti huomattavasti kohtuullisemmin kuin Suurin pudottaja –tutkimuksen kilpailussa.

Liikunnan osuuteen tuo uutta näkökulmaa Rosenbaum ym. (2003), jossa selvitettiin syytä Leibel ym. (1995) tutkimuksen havaintoon siitä, että painonpudotuksen aiheuttama energiankulutuksen pieneneminen yli oletetun näkyi erityisesti fyysisen aktiivisuuden aiheuttamassa energiankulutuksessa. Rosenbaum ym. (2003) tutkimuksessa luustolihasien työskentelyn tehokkuuden kasvu selitti merkittävää osaa fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman energiankulutuksen pienenemisessä. Vaikutukset olivat näkyvimpiä matalatehoisessa liikunnassa, joka vastaa arkielämän fyysistä aktiivisuutta. Tutkijoiden mukaan

painonpudotuksen jälkeisen liikunnan aiheuttaman energiankulutuksen pienentymistä voitaisiin tämän perusteella välttää vaihtelemalla liikuntasuorituksen tehokkuutta. Näin energiankulutuksen pienentymistä liikunnan aikana ei tarvitsisi välttämättä korvata suurentamalla liikunnan kokonaismäärää (Goldsmith ym. 2010).

Edellä mainittua teoriaa voisi mahdollisesti tukea se, että Weyer ym. (2000) tutkimuksessa runsas ja todennäköisesti teholtaan matala tai kohtuullinen fyysinen aktiivisuus ei estänyt energia-aineenvaihdunnan hidastumista. Suurin pudottaja -kilpailussa (Johannsen ym. 2012) tehokas liikunta ei estänyt energiankulutuksen pienemistä, mutta ongelmana saattoivat olla jo liialliset liikuntamäärät. Tämän vuoksi olisi kiinnostavaa saada lisää tutkimustietoa painonpudotuksesta yhdistettynä teholtaan vaihtelevaan liikuntaan, joka ei olisi kuitenkaan kokonaismäärältään yhtä äärimmäistä kuin Suurin pudottaja -kilpailussa. Tulisi kuitenkin huomioida myös se, että vaikka luustolihas-energiankulutuksen nousu vastasi 35 % tutkittavien fyysisen aktiivisuuden aiheuttaman energiankulutuksen pienemisestä (Leibel ym. 1995), se on vain yksi osatekijä energiankulutuksen pienemisessä, ja kokonaisenergiankulutuksessa mahdollinen hyöty ei välttämättä olisi suuri.

Mielenkiintoisen näkökulman tuo myös liitteen 1. ainoa meta-analyysi, jossa painoan pudottaneilla lihavilla tutkittavilla oli normaalipainoiseen kontrolliryhmään verrattuna 3–5 % pienempi kehonkoostumuksen ja -painon muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta. Tutkijoiden mukaan eroa voisi selittää painonpudotuksen aiheuttaman metabolisen adaptaation lisäksi myös se, että entisillä lihavilla tutkittavilla matalan lepoaineenvaihdunnan esiintyvyys voi olla yleisempää kuin kontrolliryhmällä. Tällöin matala lepoaineenvaihdunta olisi todennäköisemmin lihomisen syy, kuin painonpudotuksen aiheuttama vaikutus. Tutkimus on hyvä esimerkki siitä, miten tärkeää perimän vaikutuksen huomioiminen on, ennen kuin tuloksista vedetään suoria johtopäätöksiä.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen tutkimusten perusteella painonpudotuksen aiheuttaman metabolisen adaptaation taustatekijöinä saattavat olla myös elimistön neuroendokriiniset muutokset. Tutkimuksissa havaittu sympaattisen hermoston aktiivisuuden, veren leptiini-pitoisuuden ja T3-pitoisuuden lasku painonpudotuksen yhteydessä ovat merkittäviä painonpudotuksen aiheuttamassa energia-aineenvaihdunnan muutoksissa (Johannsen ym. 2012, Rosenbaum ym. 2000, Knuth ym. 2014). Rosenbaum ym. (2010) mukaan T3-pitoisuuden lasku ja rT3-pitoisuuden nousu voisi olla seurausta TSH:n tuotannon laskusta. Se, että TSH-tuotanto ei kiihdy, vaikka T3-pitoisuus painonpudotuksen yhteydessä laskee, voi viitata tyreotropiinia vapauttavan hormonin (TRH) tuotannon laskuun painonpudotuksen

yhteydessä. Johannsen ym. (2012) tutkimuksessa niillä tutkittavilla, joilla havaittiin suurin TSH-pitoisuuden nousu, T3-pitoisuus laski vähiten. Tutkijoiden mukaan tämä voisi viitata siihen, että kilpirauhashormonien toiminta pyrki estämään TSH:n erityksen suurenemisen avulla T3-pitoisuuden laskua. Reaktio ei kuitenkaan ollut riittävä T3-pitoisuuden laskun estämiseksi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Painonpudotuksella näyttäisi tämän kirjallisuuskatsauksen perusteella olevan ristiriitainen vaikutus energiankulutukseen. Osassa tutkimuksista painonpudotus pienensi tutkittavien energiankulutusta enemmän kuin kehonkoostumuksen ja -painon muutosten perusteella oli oletettu ja muutoksia havaittiin energiankulutuksen eri osa-alueissa, vuorokauden aikaisessa energiankulutuksessa, lepoaineenvaihdunnassa ja fyysisen aktiivisuuden aiheuttamassa energiankulutuksessa, eri suhteissa. Toisaalta osassa tutkimuksista painonpudotus ei pienentänyt energiankulutusta enemmän kuin kehonkoostumuksen ja -painon perusteella oli oletettu tai muutokset eivät säilyneet pitkällä aikavälillä. Tulosten perusteella painonpudotus voi mahdollisesti aiheuttaa metabolista adaptaatiota siinä mittakaavassa, että se voi vaikeuttaa painonpudotusta ja sen ylläpitoa. Neuroendokriiniset muutokset näyttäisivät toimivan jossain määrin ilmiön taustalla.

Vielä on kuitenkin epäselvää, kuinka suuri käytännön merkitys metabolisella adaptaatiolla on painonpudotukseen ja sen ylläpitoon. Tutkimukset vaihtelivat suuresti toteutuksen, kontrolliryhmän, seurannan pituuden, otoskoon, tutkittavien, painonpudotus menetelmien ja keston suhteen. Jotta ilmiöstä voitaisiin muodostaa luotettavampi kokonaiskuva, tulisi tehdä kontrolloituja, satunnaistettuja ja pitkäaikaisia seurantatutkimuksia. Olisi tärkeää saada lisää tutkimustietoa kohtuullisen energiansaannin avulla toteutetun painonpudotuksen vaikutuksesta energiankulutukseen, sillä tavanomaisesti suositellaan maltillista painonpudotustahtia, jos terveydentila ei vaadi nopeaa laihdutusta. Lisäksi tulisi tutkia tarkemmin liikunnan määrän ja rasittavuuden eri tasojen vaikutusta metabolisen adaptaation kehittymiseen. Jotta metabolisen adaptaation syntymekanismeja voitaisiin ymmärtää paremmin, olisi erityisen tärkeää tutkia lisää myös painonpudotuksen aiheuttamia neuroendokriinisiä muutoksia.

6 LÄHTEET

- Amatruda JM, Statt MC, Welle SL. Total and resting energy expenditure in obese women reduced to ideal body weight. *J Clin Invest.* 1993;92:1236-1242.
- Arone LJ, Mackintosh R, Rosenbaum M, Leibel RL, Hirsch J. Cardiac autonomic nervous system activity in obese and never-obese young men. *Obes Res.* 1997;5:354-359.
- Arone LJ, Mackintosh R, Rosenbaum M, Leibel RL, Hirsch J. Autonomic nervous system activity in weight gain and weight loss. *Am J Physiol.* 1995;269:R222-225.
- Astrup A, Gøtzsche PC, van de Werken K, Ranneries C, Toubro S, Raben A, Buemann B. Meta-analysis of resting metabolic rate in formerly obese subjects. *Am J Clin Nutr.* 1999;69:1117-1122.
- Ballor DL, Poehlman ET. Exercise-training enhances fat-free mass preservation during diet-induced weight loss: a meta-analytical finding. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1994;18:35-40.
- Camps SG, Verhoef SP, Westerterp KR. Weight loss, weight maintenance, and adaptive thermogenesis. *Am J Clin Nutr.* 2013;97:990-994.
- Danforth E Jr, Burger A. The role of thyroid hormones in the control of energy expenditure. *Clin Endocrinol Metab.* 1984;13:581-595.
- Danforth E Jr, Horton ES, O'Connell M, Sims EA, Burger AG, Ingbar SH, Braverman L, Vagenakis AG. Dietary-induced alterations in thyroid hormone metabolism during overnutrition. *J Clin Invest.* 1979;64:1336-1347.
- Das SK, Roberts SB, McCrory MA, Hsu LK, Shikora SA, Kehayias JJ, Dallal GE, Saltzman E. Long-term changes in energy expenditure and body composition after massive weight loss induced by gastric bypass surgery. *Am J Clin Nutr.* 2003;78:22-30.
- Fothergill E, Guo J, Howard L, Kerns JC, Knuth ND³, Brychta R, Chen KY, Skarulis MC, Walter M, Walter PJ, Hall KD. Persistent metabolic adaptation 6 years after "The Biggest Loser" competition. *Obesity (Silver Spring).* 2016;24:1612-1619.
- Guo F, Bakal K, Minokoshi Y, Hollenberg AN. Leptin signaling targets the thyrotropin-releasing hormone gene promoter in vivo. *Endocrinology.* 2004;145:2221-2227.
- Hall KD. Diet versus exercise in "the biggest loser" weight loss competition. *Obesity (Silver Spring).* 2013;21:957-959.

Harris M, Aschkenasi C, Elias CF, Chandrankunnel A, Nillni EA, Bjørbaek C, Elmquist JK, Flier JS, Hollenberg AN. Transcriptional regulation of the thyrotropin-releasing hormone gene by leptin and melanocortin signaling. *J Clin Invest.* 2001;107:111-120

Haslam DW, Witters G. *Obesity.* Abingdon: Health Press 2009. s. 24–29.

Johannsen DL, Knuth ND, Huizenga R, Rood JC, Ravussin E, Hall KD. Metabolic slowing with massive weight loss despite preservation of fat-free mass. *J Clin Endocrinol Metab.* 2012;97:2489-2496.

Jung R, Shetty P, James W. The effect of refeeding after semistarvation on catecholamine and thyroid metabolism. *Int J Obes* 1980; 4:95–100.

Kim MS, Small CJ, Stanley SA, Morgan DG, Seal LJ, Kong WM, Edwards CM, Abusnana S, Sunter D, Ghatei MA, Bloom SR. The central melanocortin system affects the hypothalamo-pituitary thyroid axis and may mediate the effect of leptin. *J Clin Invest.* 2000;105:1005-1011.

Knuth ND, Johannsen DL, Tamboli RA, Marks-Shulman PA, Huizenga R, Chen KY, Abumrad NN, Ravussin E, Hall KD. Metabolic adaptation following massive weight loss is related to the degree of energy imbalance and changes in circulating leptin. *Obesity (Silver Spring).* 2014;22:2563-2569.

Lam YY, Ravussin E. Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol Metab.* 2016;5:1057-1071.

Lanham-New SA, Macdonald IA, Roche HM. *Nutrition and metabolism.* 2., uudistettu painos. Wiley-Blackwell 2011. s. 363

Lazzer S, Bedogni G, Lafortuna CL, Marazzi N, Busti C, Galli R, De Col A, Agosti F, Sartorio A. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects. *Obesity (Silver Spring).* 2010;18:71-78.

Leibel RL, Rosenbaum M, Hirsch J. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *N Engl J Med.* 1995;332:621-628.

Lihavuus (aikuiset). Käypä hoito-suositus. Tarnanen K, Pietiläinen K, Hakala P, Koivukangas V, Kukkonen-Harjula K, Marttila J, Rissanen A, Saarni S. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim: Päivitetty 2011.

Müller MJ, Bosty-Westphal A. Adaptive thermogenesis with weight loss in humans. *Obesity (Silver Spring).* 2013;21:218-228.

- Norman WA, Henry HL. Hormones. 3., uudistettu painos. London: Academic Press 2015. s. 89–107
- Paddon-Jones D, Westman E, Mattes RD, Wolfe RR, Astrup A, Westerterp-Plantenga M. Protein, weight management, and satiety. *Am J Clin Nutr.* 2008;87:1558-1561.
- Pinheiro Volp AC, Esteves de Oliveira FC, Duarte Moreira Alves R, Esteves EA, Bressan J. Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutr Hosp.* 2011;26:430-440.
- Rosenbaum M, Leibel RL. 20 years of leptin: role of leptin in energy homeostasis in humans. *J Endocrinol.* 2014;223:T83-96.
- Rosenbaum M, Leibel RL. Adaptive thermogenesis in humans. *Int J Obes (Lond).* 2010;34:47–55. REVIEW
- Rosenbaum M, Sy M, Pavlovich K, Leibel RL, Hirsch J. Leptin reverses weight loss-induced changes in regional neural activity responses to visual food stimuli. *J Clin Invest.* 2008;118:2583-2591.
- Rosenbaum M, Goldsmith R, Bloomfield D, Magnano A, Weimer L, Heymsfield S, Gallagher D, Mayer L, Murphy E, Leibel RL. Low-dose leptin reverses skeletal muscle, autonomic, and neuroendocrine adaptations to maintenance of reduced weight. *J Clin Invest.* 2005;115:3579-3586.
- Rosenbaum M, Vandenborne K, Goldsmith R, Simoneau JA, Heymsfield S, Joannisse DR, Hirsch J, Murphy E, Matthews D, Segal KR, Leibel RL. Effects of experimental weight perturbation on skeletal muscle work efficiency in human subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2003;285:183-192.
- Rosenbaum M1, Hirsch J, Murphy E, Leibel RL. Effects of changes in body weight on carbohydrate metabolism, catecholamine excretion, and thyroid function. *Am J Clin Nutr.* 2000;71:1421-1432.
- Rosenbaum M, Nicolson M, Hirsch J, Murphy E, Chu F, Leibel RL. Effects of weight change on plasma leptin concentrations and energy expenditure. *J Clin Endocrinol Metab.* 1997;82:3647-3654.
- Stiegler P, Cunliffe A. The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. *Sports Med.* 2006;36:239-262.

Sperling MA. Pediatric Endocrinology. 4., uudistettu painos. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders 2014. s. 956–1014

Tamboli RA, Hossain HA, Marks PA, Eckhauser AW, Rathmacher JA, Phillips SE, Buchowski MS, Chen KY, Abumrad NN. Body composition and energy metabolism following Roux-en-Y gastric bypass surgery. *Obesity (Silver Spring)*. 2010;18:1718-1724.

Vagenakis AG, Burger A, Portnary GI, Rudolph M, O'Brian JR, Azizi F, Arky RA, Nicod P, Ingbar SH, Braverman LE. Diversion of peripheral thyroxine metabolism from activating to inactivating pathways during complete fasting. *J Clin Endocrinol Metab*. 1975;41:191-194.

van Gemert WG, Westerterp KR, van Acker BA, Wagenmakers AJ, Halliday D, Greve JM, Soeters PB. Energy, substrate and protein metabolism in morbid obesity before, during and after massive weight loss. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000;24:711-718.

Wang Z, Heshka S, Gallagher D, Boozer CN, Kotler DP, Heymsfield SB. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2000;279:539-545.

Weigle DS, Duell PB, Connor WE, Steiner RA, Soules MR, Kuijper JL. Effect of fasting, refeeding, and dietary fat restriction on plasma leptin levels. *J Clin Endocrinol Metab*. 1997;82:561-565.

Weinsier RL, Hunter GR, Zuckerman PA, Redden DT, Darnell BE, Larson DE, Newcomer BR, Goran MI. Energy expenditure and free-living physical activity in black and white women: comparison before and after weight loss. *Am J Clin Nutr*. 2000;71:1138-1146.

Weyer C, Walford RL, Harper IT, Milner M, MacCallum T, Tataranni PA, Ravussin E. Energy metabolism after 2 y of energy restriction: the biosphere 2 experiment. *Am J Clin Nutr*. 2000;72:946-953.

Wimpfheimer C, Saville E, Voirol M, et al. Starvation-induced decreased sensitivity of resting metabolic rate to triiodothyronine. *Science* 1979;205:1272–1273.

World Obesity Federation. About obesity. <https://www.worldobesity.org/what-we-do/aboutobesity/>

Wyatt HR, Grunwald GK, Seagle HM, Klem ML, McGuire MT, Wing RR, Hill JO. Resting energy expenditure in reduced-obese subjects in the National Weight Control Registry. *Am J Clin Nutr*. 1999;69:1189-1193.

7 LIITTEET

Liite 1. Painonpudotuksen vaikutus energiankulutukseen

Viite	Tutkittavat	Asetelma	Mittarit	Tulokset
Leibel ym. 1995	18 naista 23 miestä	<p>18 lihavaa ja 23 tutkittavaa, jotka eivät koskaan olleet lihavia (jatkossa ei-lihavat)</p> <p>- Ryhmä 1. (11 lihavaa, 13 ei-lihavaa tutkittavaa) nosti painoa 10 % alkuperäisestä painosta</p> <p>- Ryhmä 2. (9 lihavaa, 11 ei-lihavaa tutkittavaa) pudotti painoa 10 % alkuperäisestä painosta</p> <p>- Ryhmä 3. (10 lihavaa tutkittavaa, joista 7 myös ryhmässä 2.) pudotti painoa 20 % alkuperäisestä painosta</p> <p>- Painonousu lihavilla 6–10 vko, ei-lihavilla –6 vko</p> <p>- Painonpudotus lihavilla 6–14 vko, ei-lihavilla 4–7 vko</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen ja jälkeen painonpudotuksen, 14 päivän painon ylläpitämisen jälkeen</p> <p>Ruokavalio:</p> <p>- Nestemäinen ruokavalio</p> <p>- 800 kcal/vrk</p> <p>- 40 % rasvaa, 45 % hiilihydraatteja, 15 % proteiinia</p> <p>- Lihottamisen aikana vapaavalintainen ruokavalio</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>- Vedenalainen punnitus</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi (osalla tutkittavista)</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Epäsuora (kupu) kalorimetria</p> <p>- Virtsaan eritetyn typen mittaus</p> <p>- Ulosteen mukana menetetyn energian mittaaminen pommikalorimetrilla</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi (osalla tutkittavista)</p>	<p>Painonpudotus:</p> <p>10–20 % alkuperäisestä painosta</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>- Vuorokauden aikainen energiankulutus, lepoaineenvaihdunta ja fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus pienenevät enemmän kuin oli odotettu 10 % painonpudotuksen ylläpidon yhteydessä</p> <p>- Energiankulutus ei muuttunut enää merkittävästi, kun painoa pudotettiin edelleen 20 %</p>

Rosenbaum ym. 2003	15 naista 15 miestä	<p>- Painonpudotuksen vaikutus luustolihas-työskentelyn tehokkuuteen ja energiankulutukseen fyysisessä aktiivisuudessa</p> <p>- Ryhmä 1. (13 lihavaa ja 17 normaalipainoista, joilla ei ollut lihavuustaustaa) pudotti painoa 10 %</p> <p>- Ryhmä 2. (1 lihava ja 7 normaalipainoista, joilla ei ollut lihavuustaustaa) nosti painoa 10 %</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen ja jälkeen painonpudotuksen, vähintään 14 päivän painon ylläpitämisen jälkeen</p> <p>Ruokavalio:</p> <p>- Nestemäinen ruokavalio</p> <p>- 800 kcal/vrk</p> <p>Fyysinen aktiivisuus:</p> <p>- Tutkittavien aerobinen kunto mitattiin tutkimuksen alussa ja ylläpidettiin samalla tasolla tutkimuksen ajan</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>Kaksienergiaisen röntgensäteiden absorptiometria</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Virtsaan eritetyn typen mittaaminen</p> <p>- Ulosteen mukana menetetyn energian mittaaminen pommikalorimetrillä</p> <p>- Epäsuora (kupu) kalorimetria</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi (osalla tutkittavista)</p> <p>Luustolihas-energian hyödyntäminen:</p> <p>- Pyöräergometri</p> <p>- osalla tutkittavista MRS</p> <p>Luustolihas-biokemialliset ja histologiset tutkimukset:</p> <p>- Lihasbiopsia</p>	<p>Painonpudotus:</p> <p>- 10 % alkuperäisestä painosta</p> <p>- Painonpudotus suurensi ja painon nousu pienensi luustolihas-työskentelyn tehokkuutta</p> <p>- Luustolihas-työskentelyn tehokkuus matalatehoisessa liikunnassa muuttuneessa kehonpainossa vastasi 35 % muutoksesta fyysisen aktiivisuuden aiheuttamasta energiankulutuksessa vuorokaudessa</p>
Weyer ym. 2000	4 miestä 4 naista	<p>- Tutkittiin 2 vuotta suljetussa ekosysteemissä eläviä tutkittavia</p> <p>- Viljelyongelmien vuoksi ravinnon saanti rajoittui ja tutkittavien paino putosi ensimmäisen 6 kk aikana</p> <p>- Tämän jälkeen ravinnon saanti parani ja tutkittavien paino pysyi tasapainossa tutkimuksen loppuun asti</p> <p>- Energiansaannin rajoituksen tutkimista ei oltu ennakoitu, joten tutkittavien kehonkoostumusta ja energiankulutusta ei oltu tutkittu ennen interventiota</p> <p>- Tutkittavia verrattiin kontrolliryhmään (89 miestä, 63 naista), jonka ruokavalioon ei puututtu ja joka oli pituuden ja painon suhteen verrannollinen tutkittaviin</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- 3 viikkoa ennen intervention loppumista, 1 viikko intervention jälkeen, 6 kk intervention jälkeen</p>	<p>Kehonkoostumus: Vedenalaispunnitus</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>- Virtsaan eritetyn typen mittaaminen</p> <p>- Epäsuorakalorimetria (osalla tutkittavista)</p> <p>- "huone" –kalorimetria (osalla tutkittavista)</p>	<p>1 vko intervention jälkeen</p> <p>Painonpudotus:</p> <p>9.8 ± 5.5 kg</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Vuorokauden aikainen energiankulutus suhteutettuna ikään, sukupuoleen ja kehonkoostumukseen oli merkittävästi pienempi (9.4 ± 4.0%) kuin kontrolliryhmällä</p> <p>- Ikään, sukupuoleen ja kehonkoostumukseen suhteutettu unen aikainen energiankulutus ei muuttunut merkittävästi verrattuna kontrolliryhmään (6.7 ± 3.3%)</p>

		<p>Ruokavalio: - Ensimmäiset 6 kk energiansaanti 1783 kcal/vrk, loppuaika 1673–2629 kcal/vrk - Keskimäärin 80 % hiilihydraatteja, 9 % rasvaa ja 1 % proteiinia</p> <p>Fyysinen aktiivisuus: - Korkea fyysinen aktiivisuus</p>		<p>- Spontaani fyysinen aktiivisuus merkittävästi pienempi kuin kontrolliryhmällä</p> <p>6 kk intervention jälkeen</p> <p>Painonnousu: Tutkimusta edeltävään kehonpainoon</p> <p>Energiankulutuksen muutokset: - Suhteutettu vuorokauden aikainen energiankulutus ja spontaani fyysinen aktiivisuus säilyivät merkittävästi pienempänä (6 % ja 45 %) kuin kontrolliryhmällä - Unen aikaisessa energiankulutuksessa ei ollut merkittäviä eroja</p>
Johannsen ym. 2012	7 miestä 9 naista	<p>- Tutkittiin Suurin pudottaja -kilpailuun osallistuvia sairaalloisesti lihavia kilpailijoita, jossa kilpailijat pudottivat painoaan 30 viikon ajan - Kilpailijat asuivat 13 viikkoa eristyksissä elämäntapaleirillä ja 7–10 päivän välein yksi kilpailija äänestettiin kilpailusta ulos ja tämä palasi kotiin jatkamaan ruokavaliota ja liikuntaa ilman valvontaa - 13 viikon jälkeen jäljelle jääneet palasivat koteihinsa jatkamaan painonpudotusta ilman valvontaa viikkoon 30 asti</p> <p>Mittaukset: Lähtötilanne (n=16), vko 6 (n=11), vko 30 (n=16)</p> <p>Ruokavalio: - Ohjattiin ruokavalioon, joka oli noin 70 % kilpailijoiden lähtötilanteen energiantarpeesta</p> <p>Fyysinen aktiivisuus:</p>	<p>Kehonkoostumus: Kaksienergisien röntgensäteiden absorptiometria</p> <p>Energiankulutus: Kaksoisleimattu vesi Epäsuora kalorimetria</p>	<p>Painonpudotus: - 57.6 ± 23.8 kg - suurin osa rasvakudosta (83 ± 8%)</p> <p>Energiankulutuksen muutokset: Vaikka rasvaton kudos säilyi suhteellisen hyvin, suhteutettu lepoinenvaihdunta pieneni merkittävästi enemmän kuin oli laskennallisesti odotettu (504 ± 171 kcal/vrk)</p>

		<p>- 90 min/vrk (6vrk/vko) korkeatehoista liikuntaa</p> <p>- Lisäksi kannustettiin liikkumaan ylimääräiset 3h/vrk</p>		
Fothergill ym. 2016	8 naista 6 miestä	<p>- Suurin pudottaja –kilpailijoilla toteutettu seurantatutkimus</p> <p>- Johannsen ym. (2012) tutkimuksessa mukana olleista osallistui 14 kilpailijaa (8 naista, 6 miestä)</p> <p>- Tutkittiin energiankulutuksen muutosten pysyvyyttä</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Tutkittavilla suoritettiin samat mittaukset kuin edeltävässä tutkimuksessa kuuden vuoden jälkeen kilpailun päättymisestä</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>Kaksienergiaisen röntgensäteen absorptiometria</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>Kaksoisleimattu vesi</p> <p>Epäsuora kalorimetria</p>	<p>Painonnousu:</p> <p>41.0 ± 31.3 kg pudotetusta painosta oli noussut takaisin, yksilöiden välillä paljon vaihtelua</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>- Kilpailun lopussa havaittu ikään ja kehonkoostumukseen suhteutettu lepoaineenvaihdunnan pieneneminen (-275 ± 207 kcal/vrk) yli odotusten ei kuuden vuoden jälkeen ollut korjaantunut painonnoususta huolimatta ja ero lähtötilanteeseen oli vielä suurentunut (-499 ± 207 kcal/vrk)</p> <p>- Pienempi painonnousu korreloi merkittävämmän lepoaineenvaihdunnan hidastumisen kanssa</p>
Tamboli ym. 2010	n=29	<p>- Tutkittiin Roux-en-Y mahalaukun ohitusleikkauksen läpikäyviä sairaalloisen lihavia potilaita</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen leikkausta, 6 kk ja 12 kk sen jälkeen</p> <p>Ruokavalio:</p> <p>- Ohjausta leikkauksen jälkeiseen ruokavalioon</p> <p>- 900–1,000 kcal/vrk</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>Kaksienergiaisen röntgensäteen absorptiometria</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Epäsuora ”huone”-kalorimetria</p> <p>- Virtsan ureatypen mittaaminen</p>	<p>Tulokset 6 kk</p> <p>Painonpudotus:</p> <p>35.6 ± 8.7 kg</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>Ikään, rasvakudoksen ja rasvattoman kudoksen muutoksiin suhteutettu lepoaineenvaihdunta pieneni 201 ± 182 kcal/vrk enemmän kuin oli oletettu</p>

		<p>Fyysinen aktiivisuus: Kannustettiin liikuntaan</p>		<p>Tulokset 12 kk</p> <p>Painonpudotus: - 44.3 ± 10.2 kg - Rasvaton kudus väheni merkittävästi (27.8 ± 10.2 %)</p> <p>Energiankulutuksen muutokset: Mitatun ja odotetun lepoaineenvaihdunnan välillä ei ollut merkittävää eroa</p>
Knuth ym. 2014	<p>Suurin pudottaja – kisan kilpailijat: 9 naista 4 miestä</p> <p>Lihavuusleikkauspotilaat: 22 naista 4 miestä</p>	<p>- Verrattiin Roux-en-Y mahalaukun ohitusleikkauksella tai ruokavalion ja liikunnan avulla toteutetun painonpudotuksen vaikutuksia energiankulutukseen</p> <p>- Ryhmien ruokavalio ja fyysinen aktiivisuus kuvattu yllä (Johannsen ym. 2012, Tamboli ym. 2010)</p> <p>- Kehonkoostumuksen ja lepoaineenvaihdunnan muutoksia verrattiin retrospektiivisesti 13 parilla, jotka kuuluivat eri ryhmiin ja jotka olivat verrattavissa sukupuolen, BMI:n, painon ja iän suhteen</p>	<p>Kehonkoostumus: Kaksienergiaisen röntgensäteiden absorptiometria</p> <p>Energia-aineenvaihdunta: - Epäsuora kalorimetria</p>	<p>Painonpudotus: - Molempien ryhmien lopullinen painonpudotus oli samankaltainen</p> <p>- Mahan ohitusleikkauksen läpi käyneiden tutkittavien pudotetusta painosta suurempi osa oli rasvatonta kudosta</p> <p>Energiankulutus: - Lepoaineenvaihdunta pieneni enemmän</p> <p>Suurin pudottaja –ryhmällä kuin lihavuusleikkauspotilailla, vaikka he menettivät rasvatonta kudosta huomattavasti vähemmän</p>

van Gemert ym. 2000	n=8	<p>- Tutkittiin lihavuusleikkauksen (vertical banded gastroplasty) läpikäyvien sairaalloisen lihaviiden potilaiden unen aikaista energiankulutusta ja hereillä olon aikaista energiankulutusta</p> <p>- Suurin osa painosta putosi ensimmäisen 3 kuukauden aikana (66,5 % rasvakudosta ja 33,5 % rasvatonta kudosta) ja jatkui hitaampana seuraavan 9 kuukauden ajan (97 % rasvakudosta ja 3 % rasvatonta kudosta)</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen leikkausta ja 3 kk ja 12 kk leikkauksen jälkeen</p> <p>- 12 kuukauden jälkeen painoa pidettiin tasapainossa vähintään 3 kuukauden ajan, ennen kuin mittaukset toistettiin</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>- ”huone”-kalorimetria</p> <p>- Virtsanäyte</p>	<p>Painonpudotus:</p> <p>130.1 kg ± 17.5 kg → 83.8 kg ± 12.4 kg</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>- Rasvattomaan kudokseen suhteutettu unen aikainen energiankulutus pieneni enemmän kuin oli odotettu</p> <p>- Unen aikainen energiankulutus vastasi 64 % ja valveilla olon aikainen energiankulutus 36 % vuorokauden aikaisen energiankulutuksen pienenemisestä</p>
Weinsier ym. 2000	32 naista	<p>- Ylipainoisten tutkittavien ≥10 kg painonpudotus</p> <p>- Tummaihoisten (n=14) ja valkoisten (n=18) naisten tuloksia verrattiin keskenään</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen ja jälkeen painonpudotuksen, kun paino oli ollut tasapainossa 4 vko</p> <p>Ruokavalio:</p> <p>- 800 kcal/vrk</p> <p>- 55 % hiilihydraattia, 22 % rasvaa ja 23 % proteiinia</p> <p>Fyysinen aktiivisuus:</p> <p>- Tutkittavien omiin liikuntatottumuksiin ei vaikutettu</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>- Kaksienergiaisen röntgensäteiden absorptiometria</p> <p>- Vedenalainen punnitus</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- ”Huone”-kalorimetria</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p>	<p>Painonpudotus:</p> <p>Keskimäärin 12.8 kg</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>Kehonkoostumuksen muutoksiin suhteutettuna vuorokauden aikainen energiankulutus, unen aikainen energiankulutus ja lepopaineenvaihdunta eivät pienentyneet merkittävästi</p>

Amatruda ym. 1993	32 naista	<p>- Lihavat tutkittavat (18 naista, paino 135–180 % ideaalipainosta) pudottivat painoaan ideaalipainoon (BMI 21)</p> <p>- Tavoitepainon saavuttamisen jälkeen painoa ylläpidettiin vähintään 2 kuukautta</p> <p>- Verrattiin kontrolliryhmään (14 normaalipainoista naista, jotka eivät ole olleet koskaan lihavia), joka oli kehonkoostumuksen ja -painon suhteen samankaltainen, mutta iältään merkittävästi nuorempi, mikä saattoi vaikuttaa tuloksiin</p> <p>Mittaukset:</p> <p>- Ennen painonpudotusta ja sen jälkeen</p> <p>Ruokavalio:</p> <p>- 420–800 kcal/vrk kunnes paino oli 120 % ideaalipainosta</p> <p>- 800–1200 kcal/vrk kunnes paino oli vähemmän kuin 110 % ideaalipainosta</p> <p>- Painoa ylläpitävä ruokavaliossa keskimäärin 55 % hiilihydraattia, 30 % rasvaa ja 13 % proteiinia</p> <p>Fyysinen aktiivisuus:</p> <p>- Alkumittauksien ajan tutkittavia kehoitettiin ylläpitämään itselleen tavanomaista fyysistä aktiivisuutta</p> <p>- painonpudotuksen jälkeisten mittausten aikana heitä pyydettiin liikkumaan samoin kuin ensimmäisten mittausten aikana</p> <p>- Painonpudotuksen aikana liikuntaa suositeltiin, mutta tarkempia ohjeita ei annettu</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>Energiankulutus:</p> <p>- Kaksoisleimattu vesi</p> <p>- Epäsuora (kupu) kalorimetria</p>	<p>Painonpudotus:</p> <p>- A1: 83.7 ± 8.5 kg</p> <p>- A2: 61.7 ± 5.4</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>- Painonpudotuksen jälkeen ryhmien välillä ei ollut merkittävää eroa kehonpainossa, kehonkoostumuksessa, lepoaineenvaihdunnassa tai vuorokauden aikaisessa energiankulutuksessa</p>
Astrup ym. 1999	n=245	<p>- Meta-analyysi julkaistuista tutkimuksista, joissa tutkittiin entisten lihaviiden (n=124) lepoaineenvaihduntaa ja käytettiin kontrolliryhmää (n=121), jossa tutkittavat eivät ole olleet koskaan lihavia</p>		<p>Entisillä lihavilla tutkittavilla oli 3-5 % matalampi lepoaineenvaihdunnan keskiarvo kuin kontrolliryhmällä.</p>

Wyatt ym. 1999	79 naista 16 miestä	<ul style="list-style-type: none"> - Tutkimukseen valittiin 40 painoan pudottanutta ylipainoista (33 miestä, 7 naista), jotka olivat ylläpitäneet uutta kehopainoa vähintään yhden vuoden - Verrattiin painonpudotuksen jälkeen painoltaan tutkittavia vastaavaan kontrolliryhmään (37 naista, 9 miestä) - Molemmissa ryhmissä tutkittavien paino vaihteli laajasti, jotkut olivat ylipainoisia toiset normaalipainoisia <p>Mittaukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 kerta 	<p>Kehonkoostumus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kaksienergiaisen röntgensäteen absorptiometria <p>Energiankulutus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Epäsuora (kupu) kalorimetria 	<p>Painonpudotus:</p> <p>≥13.6 kg</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <p>Rasvakudokseen, rasvattomaan kudokseen, ikään ja sukupuoleen suhteutetussa lepoaineenvaihdunnassa ei ollut merkittäviä eroja ryhmien välillä</p>
Camps ym. 2013	69 naista 22 miestä	<ul style="list-style-type: none"> - Vuoden mittaisessa tutkimuksessa tutkittavat (BMI 31.9 ± 3.0) pudottivat 8 viikon ajan painoan ja ylläpitivät sitä loppuajan <p>Mittaukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ennen dieettiä, sen loputtua ja 20 ja 52 viikon kuluttua dieetin aloituksesta <p>Ruokavalio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nestemäinen ruokavalio - 501 kcal/vrk (51.9 g proteiinia, 50.2 g hiilihydraattia, and 6.9 g rasvaa) 	<p>Kehonkoostumus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - air-displacement plethysmography - deuterium dilution Maastricht protocol <p>Energiankulutus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Epäsuora (kupu) kalorimetria 	<p>Painonpudotus:</p> <p>9.6 ± 4.1 kg (10.3 ± 4.4%)</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lepoaineenvaihdunta pieneni enemmän kuin kehonkoostumusten muutosten perusteella oli oletettu - Muutos oli pitkäaikainen ja havaittavissa vielä 52 viikon jälkeen
Das ym. 2003	24 naista 6 miestä	<ul style="list-style-type: none"> - Tutkittiin vatsalaukun ohitusleikkauksen vaikutusta vuorokauden aikaiseen energiankulutukseen, lepoaineenvaihduntaan ja kehonkoostumukseen <p>Mittaukset:</p> <p>Ennen leikkausta, sen jälkeisen painonpudotuksen ja painon ylläpidon jälkeen (14 ± 2 kk)</p>	<p>Kehonkoostumus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - H218O-dilution values - air-displacement plethysmography <p>Energiankulutus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Epäsuora kalorimetria - Kaksoisleimattu vesi 	<p>Painonpudotus</p> <p>53 ± 22.2 kg</p> <p>Energiankulutuksen muutokset:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vuorokauden aikainen energiankulutus tai lepoaineenvaihdunta ei pienentynyt enemmän kuin kehonkoostumuksen ja -painon perusteella oli oletettu