

**KEHON KOOSTUMUKSEN ARVIOIMINEN
IHOPOIMUMITTAUKSELLA, BIOSÄHKÖISELLÄ
IMPEDANSSILLA JA KAKSIENERGISEN
RÖNTGENSÄTEILYN ABSORPTIOMETRIALLA**

Emilia Ojala

Liikuntafysiologia
Kandidaatintutkielma
LFYA005
Syksy 2010
Liikuntabiologian laitos
Jyväskylän yliopisto
Työn ohjaajat: Antti Mero
ja Juha Hulmi

TIIVISTELMÄ

Ojala, Paula Emilia. Kehon koostumuksen arvioiminen ihopoimiumittauksella, biosähköisellä impedanssilla ja kaksiennergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla. Liikuntafysiologian kandidaatintutkielma. Liikuntabiologian laitos, Jyväskylän yliopisto. Syksy 2010. 56s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ovatko kaksiennergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla (DXA), biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimujen paksuusmittauksella (SF) arvioidut kehon rasvaprosentit yhtäläisiä. Vedenalaisesta punnitusmenetelmästä on suurimmaksi osaksi jo luovuttu maailmalla ja DXA on todettu luotettavaksi ja tarkaksi menetelmäksi kehon koostumuksen arvioimisessa. Sen vuoksi BIA:n ja SF:n tuloksia verrattiin ensisijaisesti DXA:n tuloksiin.

Menetelmät. Tutkimuksessa oli 31 normaalipainoista 18 - 40 -vuotiasta koehenkilöä, 21 miestä ravintolisä- ja 18 naista painonpudotustutkimuksessa. Koehenkilöiltä mitattiin pituus, paino, ja rasvaprosentti SF:lla, BIA:lla (InBody 720) ja DXA:lla (Lunar Prodigy densitometer) ennen (pre) ja jälkeen (post) kuukauden koejakson. Tilastollisina menetelminä käytettiin Kolmogorov-Smirnovin testiä normaalijakautuneisuuden testaamiseen ja sen perusteella valittiin Spearmanin ei-parametriset testit eri menetelmien välille. Menetelmien välistä yhtenevyyttä kuvattiin Bland-Altmanin hajontakuviolla.

Tulokset osoittivat, että kehon paino (pre) oli $70,7 \pm 7,3$ kg ja se laski merkitsevästi paino (post) ($68,7 \pm 8,2$ kg). Naisten paino putosi merkitsevästi ($p < 0,001$) ($3,8 \pm 1,4$ kg), mutta miesten pysyi samana ($-0,1 \pm 0,9$ kg) koejaksolla. Naisten rasvaprosentit olivat $33,2 \pm 5,6$ %, $28,8 \pm 5,7$ % ja $30,4 \pm 2,5$ %, DXApre, BIApre ja SFpre vastaavasti, ja ne laskivat merkitsevästi painonpudotusjakson jälkeen. Miesten rasvaprosentit olivat vastaavasti $12,7 \pm 3,8$ %, $9,3 \pm 2,3$ % ja $13,3 \pm 1,8$ %, DXApre, BIApre ja SFpre, ja koejaksolla ei ollut merkitsevää muutosta. Menetelmien väliset korrelaatiokertoimet olivat korkeita ennen koejakson alkua: BIA - DXA $r = 0,958$, SF - DXA $r = 0,924$ ja BIA - SF $r = 0,919$ (kaikissa $p < 0,01$) ja myös koejakson jälkeen. Bland-Altmanin kuvion perusteella kaikki menetelmät olivat keskenään yhteneviä. Rasvaprosenttien keskiarvot olivat merkitsevästi ($p < 0,001$) alhaisempia BIA:lla kuin DXA:lla kaikilla koehenkilöillä, sekä erikseen naisilla ja erikseen miehillä, joten BIA aliarvioi DXA:a. BIA mittasi rasvaprosentin muutoksen lähes samansuuruisena kaikilla koehenkilöryhmillä DXA:n tuloksiin verrattuna. Absoluuttiset muutokset rasvaprosentissa olivat suurempia SF:lla kuin DXA:lla, mutta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Rasvaprosentin suhteellinen muutos prosentteina ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi eri menetelmillä arvioituna eri ryhmissä (naisilla, miehillä eikä kaikilla koehenkilöillä).

Johtopäätöksinä voidaan todeta, että DXA, BIA ja SF soveltuvat hyvin kehon koostumuksen arvioimiseen rasvaprosentin avulla. BIA mittasi rasvaprosentin yhteneväisesti, mutta aliarvioiden DXA:an ja SF:an nähden. BIA havaitsi rasvaprosentin muutoksen yhtä tarkasti kuin DXA. Tulokset viittaavat systemaattiseen virheeseen BIA:ssa. Menetelmä erottelee koehenkilöt vastaavasti kuten DXA:kin. Ihopoimujen paksuusmittaus korreloi vahvasti DXA:n kanssa ja on luotettava ja tarkka menetelmä rasvaprosentin mittaukseen. Sen mittauksessa tulisi käyttää aina samaa pätevää mittaajaa.

Avainsanat: kehon koostumus, rasvaprosentti, monitaajuinen biosähköinen impedanssi (BIA), kaksiennergisen röntgensäteilyn absorptiometria (DXA), ihopoimujen paksuusmittaus.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	3
2 KEHON KOOSTUMUKSEN MALLIT	8
2.1 Alkuainetason malli	9
2.2. Molekyylitason malli	10
2.3 Solutason malli.....	14
2.4 Kudos- ja elimistöton malli	15
2.5 Koko kehon tason malli	15
3 KEHON KOOSTUMUKSEN ARVIOINTIMENETELMÄT	17
3.1 Kaksienergisän röntgensäteen absorptiometria.....	17
3.2 Biosähköinen impedanssi.....	22
3.3 Ihopoimumittaus	25
4 KEHON KOOSTUMUKSEN ARVIOINTIMENETELMIEN LUOTETTAVUUS JA TOISTETTAVUUS	27
4.1 Kaksienergisän röntgensäteen absorptiometrian luotettavuus ja toistettavuus	28
4.2 Biosähköisen impedanssin ja ihopoimujen paksuusmittauksen luotettavuus ja toistettavuus verrattuna kaksienergisän röntgensäteen absorptiometriaan	31
4.3. Kehon koostumuksen muutoksien havaitseminen	31
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	33
6 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	34
6.1 Koehenkilöt.....	34
6.2 Koeasetelma	34
6.3 Aineiston keräys.....	35
6.4 Aineiston analyysi.....	36
6.5 Tilastollinen analyysi	37
7 TULOKSET	39
7.1. Tulokset ennen koejaksoa	40
7.2. Tulokset koejakson jälkeen	45
7.3 Tulokset koehenkilöryhmittäin	46
8 POHDINTA	50
9 LÄHTEET	55

1 JOHDANTO

Kehon koostumuksen arvioiminen on ollut tutkijoiden ja lääkäreiden mielenkiinnon aiheena jo pitkään. Kehon koostumuksen mittaamisessa suurin mielenkiinto on ollut rasvan määrän arvioiminen suhteessa muuhun kehon massaun. Rasvamassan lisääntymisellä on yleisesti tiedostettuja haitallisia vaikutuksia yksilöiden terveyteen. Ylipainoisten ihmisten määrä on kasvanut reippaasti parin viime vuosikymmenen ajan länsimaissa, joten rasvan määrän arvioiminen olisi tärkeää. Kehon koostumuksen mittaamiseen on kehitetty monenlaisia mittaustekniikoita. Siitä huolimatta kehon koostumuksen mittaamisessa saadaan täysin luotettava tulos ainoastaan vainajilla tehdyissä määrityksissä. Kaikki elävästä elimistöstä mitatut tulokset ovatkin aina arvioita kehon koostumuksesta eikä vielä ole löydetty menetelmää, jolla saataisiin täysin varmasti mitattua kehon tarkka koostumus.

Aikaisemmin kehon koostumuksen arvioimisessa pidettiin luotettavimpana menetelmänä kehon tiheysmittausta vedenalaispunnituksella, johon muita menetelmiä verrattiin. Kehon tiheysmittaus perustuu rasvan ja rasvattoman massan tiheysvakioihin, mutta ongelmana on suuri vaihtelu rasvattoman massan koostumuksessa eri yksilöiden välillä. Tästä aiheutuu biologinen mittausvirhe tuloksiin. Rasvaton massa koostuu vedestä, mineraaleista ja proteiineista. Kehon koostumuksen määrittelyssä on pyritty saamaan tarkempia tuloksia kehittämällä mittausmenetelmiä rasvattoman massan koostumuksen selvittämiseen. Nykyisin luotettavimpana kehon koostumuksen arviointimenetelmänä pidetään 4-komponentin malleja, joissa määritetään rasvan, veden, mineraalien ja proteiinien määrät useammalla eri menetelmällä ja koostetaan tulokset yhtenäisiksi. (Ellis 2000; Evans ym. 1999.)

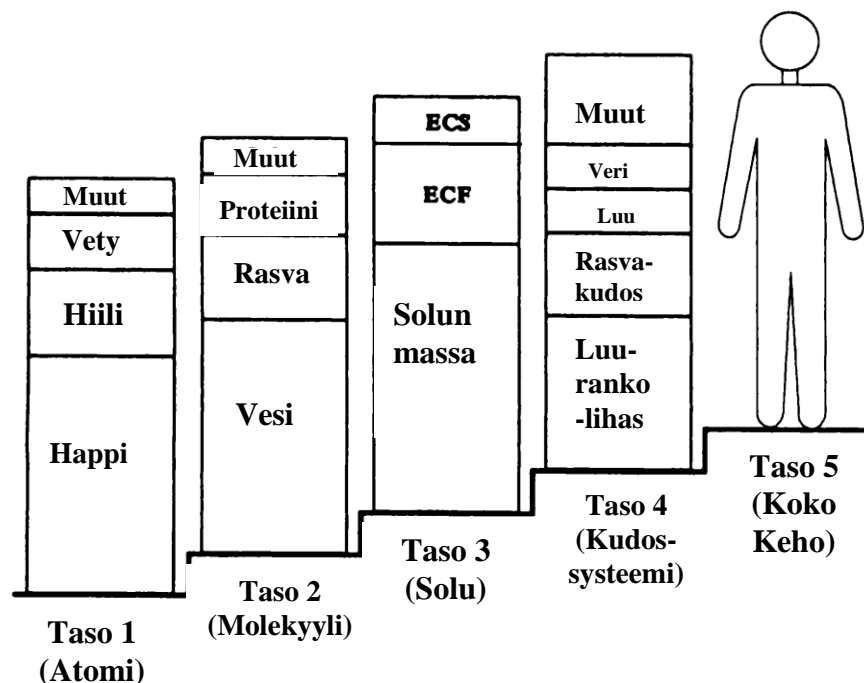
Tarkimmat kehon koostumuksen mittausmenetelmät vaativat yleensä laboratorio-olosuhteet tai kalliit kuvantamismenetelmät, joten ne eivät ole käytännöllisiä ja laajasti käytettäviä. Sen vuoksi helposti käytettävät ja laajalle koehenkilöjoukolle soveltuvat kenttämenetelmät olisivat tarpeellisia rasvan määrän arvioimisessa. Yksi yksinkertaisemmista menetelmistä ylipainon arvioimisessa on kehon painoindeksi, BMI (Body mass index), jossa suhteutetaan

kehon massa pituuden neliöön ja sen perusteella arvioidaan onko henkilö normaali-, ali- tai ylipainoinen. BMI ei tosin erottele onko kehon massa rasvamassaa vai muuta esimerkiksi lihasmassaa, joten se ei yksistään riitä kehon koostumuksen arvioimisessa. Muita yksinkertaisia menetelmiä ovat erilaiset kehon ympärysmittat ja muut antropometriset tiedot. Varsinaisesti rasvaprosentin mittaamiseen yksinkertaisimpia menetelmiä on ihopoimujen paksuusmittaus pihdeillä. Ihopoimujen paksuusmittaus on todettu luotettavaksi menetelmäksi useissa eri tutkimuksissa. Ihopoimuumittaus soveltuu kuitenkin parhaiten seuranta- käyttöön, kun mittaaaja ja pihdit ovat samat. Sen käytössä on huomioitava mm. mittaaajan taitavuus ja haasteet mitata huomattavan ylipainoisia ihmisiä. (Bellisari & Roche 2005; Fogelholm 2004.) Toinen hieman monimutkaisempi, mutta nykyisin jo yleisesti saatavilla oleva menetelmä on biosähköinen impedanssi (BIA). Biosähköinen impedanssi arvioi kehon koostumusta kehon nesteaitioissa kiertävän sähkövirran avulla ja antaen arviot kehon nestetilavuuksista ja antropometristen tietojen avulla myös kehon rasvamassasta. BIA vaatii erityisen laitteen ja hyvin vakioidut olosuhteet kehon nestetasapainon suhteen. (Kyle ym. 2004; Fogelholm 2004.)

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kolmen eri menetelmän tarkkuutta ja yhtäläisyyttä kehon koostumuksen arvioimisessa. Tutkimuksessa käytettiin kaksiennergisen röntgensäteiden absorptiometriä eli DXA:a standardimenetelmänä, johon ihopoimujen paksuusmittausta ja biosähköistä impedanssia verrattiin. Kaikilla menetelmillä määritettiin kehon rasvaprosentit, joita verrattiin toisiinsa kahdella eri koehenkilöryhmällä eli naisilla ja miehillä ennen ja jälkeen kuukauden koejakson.

2 KEHON KOOSTUMUKSEN MALLIT

Kehon koostumuksen selvittäminen on kiinnostanut tutkijoita jo yli vuosisadan ja tiedon ja tutkimusmenetelmien määrä on lisääntynyt viime vuosikymmeninä erittäin paljon. Kehon koostumusta koskevaa tietoa ei ollut aiemmin jaoteltu systemaattisesti. Yhden määrittelytavan mukaan tieto oli jaettu tekniseen ja biologiseen tietoon. Tekninen tieto käsitti tutkimusmenetelmät ja biologinen miten erilaiset tekijät kuten kasvu, ikääntyminen, harjoittelu ja sairaudet vaikuttavat kehon koostumukseen. Kaikkea tietoa ei voitu sisällyttää näihin kategorioihin, joten tarkemmin määritelty kehon koostumusta koskevan tutkimustiedon jaottelu oli Wangin ym. (1992) mukaan tarpeellista. Kehon koostumus jaettiin viiteen tasoon ja niille määriteltiin säännöt. Kehon koostumuksen mallissa olevat viisi tasoa ovat: I alkuaine-, II molekyyli-, III, solu-, IV kudossysteemi- ja V koko kehon taso (Kuva 1). (Wang ym. 1992.)



KUVA 1. Viisi kehon koostumuksen tasoa. ECF = solun ulkoinen neste ECS = solun ulkoinen kiinteä aine. (Wang ym. 1992.)

2.1 Alkuainetason malli

Ihmiskeho koostuu noin 50 alkuaineesta. Neljä yleisintä alkuainetta kehossa ovat happi, hiili, vety ja typpi, jotka muodostavat yli 95 prosenttia kehon massasta. Happi yksistään vastaa yli 60 prosentista kehon painosta. Seitsemän muuta alkuainetta, natrium, kalium, fosfori, kalsium, magnesium ja rikki muodostavat edellisten neljän lisäksi yli 99,5 prosenttia kehon massasta. Loput noin 40 alkuainetta koostavat hyvin pienen osan kehon massasta. (Heymsfield ym. 1991; Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.) Alkuaineiden osuudet on määritelty tarkasti viitearvomiehen tutkimusraportissa. Viitearvomies määriteltiin noin 20 - 30 -vuotiaaksi, 70 kg ja 170 cm pitkäksi kaukasialaiseksi Länsi-Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa asuvaksi mieheksi (Snyder ym. 1975, s.4). Viitearvomiehen alkuainekoostumus on esitetty taulukossa 1 (Snyder ym. 1975).

TAULUKKO 1. Alkuaineiden osuudet viitearvomiehen kehon koostumuksesta (Snyder ym. 1975, s.327).

Alkuaine	määrä (g)	suhteellinen osuus kehon painosta (%)
Happi	43 000	61
Hiili	16 000	23
Vety	7 000	10
Typpi	1 800	2,6
Kalsium	1 000	1,4
Fosfori	780	1,1
Rikki	140	0,20
Kalium	140	0,20
Natrium	100	0,14
Kloori	95	0,12
Magnesium	19	0,027

Alkuaineista muodostuva kehon koostumus voidaan esittää kaavalla:

$$\text{Kehon massa} = O + C + H + N + Ca + P + S + K + Na + Cl + Mg + R,$$

jossa R = loppujen kehon alkuaineiden yhteismassa, joka on pienempi kuin 0,2 prosenttia kehon massasta (Heymsfield ym. 1991). Varhaisimmissa tutkimuksissa on käytetty vainajia ja kudoksenäytteitä, joista on selvitetty tarkasti kehon alkuaineiden osuudet. Nykyiset tutkimusmenetelmät mahdollistavat tutkimukset elävästä elimistöstä. Yleisimmin käytetyt menetelmät ovat neutroni-aktivaatiotekniikat, joiden avulla voidaan arvioida natriumin, kloorin, kalsiumin ja typen määrät kehossa. Kaliumin määrää voidaan arvioida ^{40}K -laskennan avulla. Radioisotooppilaimennuksia voidaan käyttää alkuaineille, joiden pitoisuus muuttuu tietyssä nestetilassa, kuten esimerkiksi natriumin, kaliumin ja bromidin (Br^-). Muiden alkuaineiden osuuksia voidaan arvioida saatujen tietojen avulla, koska alkuaineet esiintyvät vakiosuhteissa toisiinsa, esimerkiksi (kg/kg): $S/N = 0,0062$, $N/\text{proteiini} = 0,16$ ja $H/\text{kehon massa} = 0,10$. Mitattujen arvojen avulla voidaan matemaattisia kaavoja käyttämällä laskea kehon koostumus. (Heymsfield ym. 1991; Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

2.2. Molekyylitason malli

Yksitoista kehon yleisintä alkuainetta esiintyvät erilaisina molekyyleinä kehossa. Molekyylejä on hyvin monenlaisia ja kokoisia molekyylipainoltaan ja rakenteeltaan. Kaikkea molekyylejä on mahdotonta määrittää ja sen vuoksi molekyylit ovat luokiteltu pääryhmittäin veteen (nesteet), lipideihin, proteiineihin, mineraaleihin ja glykokeeniin. Vettä on noin 60 prosenttia kehon massasta, josta solun sisäistä nestettä noin 34 % ja solunulkoista noin 26 %. Kehon koostumusta tutkittaessa proteiineiksi määritellään usein kaikki typen yhdisteet aminohapoista monimutkaisiin nukleoproteiineihin. Proteiinia on noin 15 % kehon massasta. Hiilihydraatit ovat varastoituneet kehossa pääasiassa glykokeeniinä, jota löytyy lihassoluista ja maksasta. Mineraaleja on noin 5,3 prosenttia kehon massasta ja niihin kuuluvat epäorgaaniset yhdisteet, joissa on runsaasti metallialkuaineita esimerkiksi kalsiumia, kaliumia, natriumia ja epämetalleja kuten happea, fosforia ja klooria. Kehon kalsiumista yli 99 prosenttia ja fosforista noin 86 prosenttia on luukudoksessa

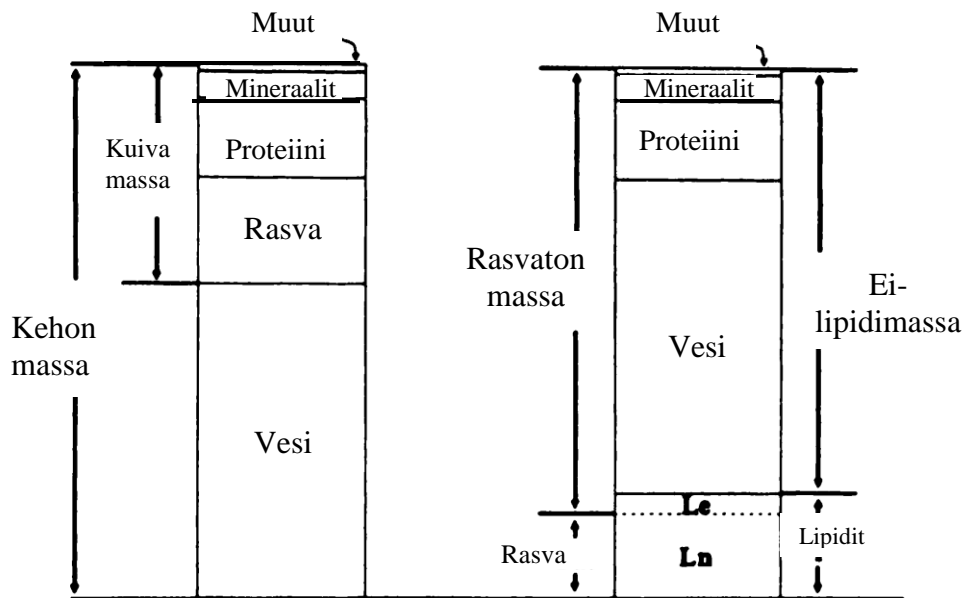
hydroksiapatiittina. Muita alkuaineita löytyy enimmäkseen muista kehon mineraaleista kuin luuyhdisteistä. (Wang ym. 1992.)

Lipidit ovat molekyyliä, jotka eivät liukene veteen, mutta liukenevat orgaanisiin liuottimiin. Termiä rasva käytetään triglyserideistä eli rasvat ovat osa lipideitä ja muodostavat noin 90 prosenttia normaalipainoisen aikuisen kehon lipideistä. Triglyseridi muodostuu esterisidoksilla kolmesta rasvahaposta ja glyserolista. Muita lipideitä ovat muut yksinkertaiset lipidit (vahat), yhdistelmälipidit (sfingo- ja fosfolipidit), steroidit, rasvahapot ja terpeenit. Fysiologisesti lipidit voidaan jakaa myös välttämättömiin ja ei-välttämättömiin lipideihin, joita on 2,1 ja 17 % kehon massasta. Elimistölle välttämättömiä lipideitä (sfingomyeliini ja fosfolipidit) on elimistölle tärkeissä tehtävissä esimerkiksi solun seinämissä ja niitä on noin 10 prosenttia kehon lipideistä. Ei-välttämättömät lipidit osallistuvat mm. kehon lämmön eristykseen ja ne muodostuvat suurimmaksi osaksi triglyserideistä. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

Molekyyli-tason yhtälö kehon massalle on

$$\text{Kehon massa} = L + A + \text{Pro} + M + G + R,$$

jossa L = lipidit, A = nesteet, Pro = proteiinit, M = mineraalit, G = glykogeeni ja R = muut yhdisteet, joita on alle 1 % kehon massasta. Kuvassa 2 on esitetty kehon koostumus molekyylitasolla. (Wang ym. 1992.)



Kuva 2. Kehon koostumus molekyyllitasolla. Vasemman puoleisessa kuvassa on kehon massan jakautuminen nesteisiin ja kuivamassaan eli lipideihin, proteiineihin, mineraaleihin ja muihin yhdisteisiin. Oikealla on määritetty lipidien jakautuminen välttämättömiin (Le) ja ei-välttämättömiin (Ln) lipideihin. Rasvamassaan kuuluvat vain ei-välttämättömät lipidit ja rasvattomaan massaan välttämättömät rasvat ja muut kehon molekyylit. LFM = ei-lipidimassa. (Wang ym. 1992.)

Molekyyllitason mittausmenetelmät perustuvat usein tiheyden mittaamiseen, sillä molekyylien tiheydet ovat suhteellisen vakioita kehon normaalilämpötilassa. Koko kehon tiheys on suhteellisen helppo mitata esimerkiksi vedenalaispunnituksella. Veden, glykogeenin ($1,52 \text{ g / cm}^3$) ja triglyseridien ($0,900 \text{ g / cm}^3$) tiheydet ovat lähes homogeenisia 37 asteessa. Proteiinien (keskiarvotiheys $1,34 \text{ g / cm}^3$), luun ja pehmeän kudoksen mineraalien tiheydet ovat vaikeammin määriteltävissä. Yhdistelmäkomponenttien kuten rasvattoman massan arvioimisessa oletetaan tiettyjen molekyylien osien pysyvän suhteellisen vakiona keskenään, jolloin yhdistelmä molekyyyleille on voitu laskea tiheyden vakiot. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

Kehon koostumusta tutkittaessa on ollut helpompaa yksinkertaistaa viiden elementin mallia tutkimusmenetelmälle sopivaksi. Yksinkertaisessa kahden komponentin mallissa (2-C) kehon massa on jaettu kahteen osaan, rasvamassaan ja muuhun eli rasvattomaan massaan (Fat-free mass FFM). Rasvamassan mittaaminen luotettavasti on aina ollut iso haaste,

mutta 2-C-mallissa voidaan mitata rasvattoman massan osuus ja vähentää se kehon massasta, jolloin saadaan epäsuorasti mitattua rasvamassan määrä. Yleisin ja yksi varhaisimmista kahden komponentin mallin mittaamenetelmistä on vedenalaispunnitus, joka perustuu kehon tiheyden mittaamiseen. Uudempia ydinfysiikkaan perustuvia mittaamenetelmiä ovat ^{40}K -laskenta ja radioaktiivisen aineen laimentamiseen perustuvat menetelmät. Niissä molemmissa määritetään veden tai kehon kalium-pitoisuus rasvattomasta massasta ja oletetaan niiden tiheyksien olevan vakiot kaikenikäisillä, vedelle 0,732 l / kg ja 68,1 meq / kg kaliumille. Nämä vakiot eivät huomioi rotua, sairaustiloja eivätkä hyvin nuoria tai vanhoja koehenkilöitä. (Ellis 2000.)

Kahden komponentin mallissa olevia heikkouksia on yritetty vähentää mittaamalla veden osuus rasvattomasta massasta. Kolmen komponentin mallissa (3-C) kehon veden määrä voidaan määrittää esimerkiksi vedenalaispunnituksella mitatusta rasvattomasta massasta isotooppilaimennuksella. Tämän mallin heikkoudet tulevat esiin mitattaessa henkilöitä, joilla on vajausta kehon proteiineissa tai luun mineraalimassassa. Neljän komponentin mallissa (4-C) erotetaan veden lisäksi proteiinien ja mineraalien määrät kehon rasvattomasta massasta. Vedenalaispunnituksessa oletetaan niiden tiheyksien olevan 1,34 proteiineille ja 3,075 kg / l luun mineraaleille. Proteiinien ja luun mineraalien mittaaminen ei ole kovin yksinkertaista, sillä kehon proteiinimassan mittaamiseen tarvitaan neutronien aktivaatioanalyysiä ja luun mineraalikoostumukselle DXA:a. Näillä menetelmillä saadaan suoraan arviot kehon rasvamassasta, joten 4-C-mallissa vedenalaispunnituksen käytölle ei ole järkevää syytä. Koska neutronien aktivaatioanalyysiin tarvittava laitteisto on erittäin harvinainen, proteiinimassan oletetaan olevan suhteessa luun mineraalimassaan, joka on mitattavissa yleisemmällä DXA-laitteella. Rasvan määrän muutosten arvioimiseen tämä on riittävä tarkkuus, sillä luun koostumus ei juuri muutu. Kehon proteiinimassa sen sijaan saattaa muuttua huomattavastikin eikä se ole yhteydessä kehon rasvamassan määrän muutoksiin. (Ellis 2000.)

2.3 Solutason malli

Molekyylit muodostavat soluja, joista kaikki elävät organismit koostuvat. Ihmisen elimistö jakautuu kolmeen pääosaan solutasolla, soluihin, solunulkoiseen nesteeseen ja solunulkoisiin kiinteisiin aineisiin. Plasma ja solujen välinen neste ovat solunulkoista nestettä ja siinä on veden (94 %) lisäksi elektrolyyttejä ja proteiineja. Solunulkoisessa nesteessä tapahtuu kaasujen, ravintoaineiden ja aineenvaihdunnan tuotteiden vaihtuminen solujen välillä. Solunulkoisia kiinteitä aineita ovat luun mineraalit ja muut epäorgaaniset komponentit ja lisäksi kollageeni-, verkko- ja elastiset syyt. Solunulkoiset nesteet ja kiinteät aineet eivät ole yleensä tutkimuksen kohteena. Soluja on yli 10^8 ja ne ovat erikoistuneita tiettyyn fysiologiseen toimintaan. Solut voidaan jakaa kudostyypeittäin tuki-, epiteeli-, hermo- ja lihaskudossoluihin. Tukikudossoluihin kuuluvat rasvasolut pystyvät varastoimaan triglyserideja ja sen vuoksi rasvasolujen massan määrittäminen kiinnostaa tutkijoita. Yleisesti käytetty solutason kaava kehon massalle on:

Kehon massa = rasvat + solunulkoisen neste + solunulkoiset kiinteät aineet + solujen massa. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

Tutkimuksissa hyödynnetään suhteellisen vakiona pysyviä arvoja kuten esimerkiksi K/solunsisäinen vesi = 159 mmol K / kg (H_2O), K / solumassa = 4,69 g / kg ja solunulkoisen vesi / Solunulkoisen neste = 0,92. Kaliumin määrää solunsisäisissä tiloissa voidaan määrittää ^{40}K -laskennan avulla, kun käytetään ^{42}K - ja ^{43}K -isotooppilaimennusta. Toisessa tutkimustavassa voidaan määrittää koko kehon solunsisäisen veden määrä koko kehon veden ja solunulkoisen veden määrän arvioiden avulla esimerkiksi laimennusmenetelmillä. Tutkimuksia solutasolla on tehty hyvin vähän, vaikka solutaso on tärkeä kehon koostumuksen kannalta. Solutason osien määrittämisessä on kuitenkin puutteita ja niiden tutkimiseen käytettyjä menetelmiä on vähän. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

2.4 Kudos- ja elimistötason malli

Toiminnaltaan, ulkonäöltään ja alkuperältään samantyyppiset solut muodostavat kudoksia, jotka voidaan luokitella tuki-, epiteeli-, hermo- ja lihaskudoksiin. Elimet muodostuvat erilaisista kudoksista ja elimet, joiden toiminta liittyy toisiinsa muodostavat elinsysteemejä eli elimistöjä. Tutkimuksissa erityisen tärkeitä kudoksia ovat luu-, rasva- ja lihaskudokset, jotka vastaavat noin 75 % kehon painosta normaalipainoisella. Kehon massa voidaan ilmaista systeemitasolla yhdeksän elimistön (iho, hermosto, tuki- ja liikunta-, verenkierto-, hengitys-, ruoansulatus-, virtsaneritys-, umpieritys- ja lisääntymiselimistö) summaksi. Koska useimpien elimistöjen koostumuksen mittaaminen on mahdotonta, yksinkertaistettu kaava on käytännöllisempi kehon koostumusta tutkittaessa. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

$$\text{Kehon massa} = \text{rasva-} + \text{lihas-} + \text{luu} + \text{sisäelinrasvakudos} + \text{veri} + R,$$

Jossa R on muiden kudosten summa, noin 15 %. Ensimmäiset viisi kudosta muodostavat siis noin 85 % kehon massasta. Kudostason tutkimusta voidaan tehdä erilaisilla kuvantamismenetelmillä, kuten magneetti- ja tietokonekerroskuvauksella, niiden hyvän erottelukyvyn ansiosta. (Heymsfield & Wang 1997; Wang ym. 1992.)

2.5 Koko kehon tason malli

Ihmiset erottuvat muista elävistä olennoista kehon koostumuksen osalta vasta koko kehoa tarkastelemalla, sillä kehon koostumus on samankaltainen eri eliöillä alkuaine-, molekyyli-, kudos- ja elimistöjen tasolla. Koko kehon tasolla tarkastellaan ruumiin muotoa, kokoa ja fyysisiä ominaisuuksia kuten esimerkiksi pituus, segmenttien pituudet, kehon leveys- ja ympärysmitat, ihopoimujen paksuudet, elimistön pinta-ala, tilavuus ja tiheys, paino ja painoindeksi. Kehon pituus- ja segmenttien mitat kertovat luurangon koosta ja muodosta. Leveysmittoja otetaan yleensä ranteista, nilkoista, polvista ja lonkasta. Ympärysmittoja lanteesta, reidestä ja olkavarresta käytetään mm. kehon tiheyden, rasvattoman massan, rasvakudosmassan ja energiavarastojen arvioimiseen. Elimistön tilavuutta käytetään tiheyden arvioimisessa ja tiheyden avulla voidaan arvioida epäsuorasti kehon rasva- ja rasva-

tonta massaa molekyylitasolla. Painoindeksiä, joka yleisimmin lasketaan kaavalla kehon massa / pituuden neliö (kg/m^2), käytetään koko kehon rasvamäärän indeksinä lihavuustutkimuksissa. Tietyille ihmisryhmille on myös tarkempia kaavoja, jotka korreloivat paremmin koko kehon rasvan määrään, kuten esimerkiksi massa^{1,2}/pituus^{3,3}. Ihopoinujen paksuutta mitataan tietyistä paikoista, ja niiden summan avulla arvioidaan koko kehon rasvan määrää ja jakautumista. Merkittävät muutokset alemmilla neljällä kehon koostumuksen tasolla heijastuvat yleensä koko kehon tasollekin kuten myös toisinpäin eli suuret muutokset koko kehon mitoissa ovat havaittavissa myös muilla tasoilla. Tutkimusmenetelmät ovat yksinkertaisia ja halpoja koko kehon tasolla verrattuna muihin tasoihin ja ne soveltuvatkin suurille ihmisjoukoille ja kenttätesteiksi. (Wang ym. 1992.)

3 KEHON KOOSTUMUKSEN ARVIOINTIMENETELMÄT

3.1 Kaksienergisien röntgensäteiden absorptiometria

Kaksienergisien röntgensäteiden absorptiometriä (dual-energy x-ray absorptiometry, DXA) on alun perin kehitetty luun mineraalitiheyden mittaamiseen. DXA:n kehittymistä ovat edeltäneet 1960-luvulla luuston kalsiumin mittaamiseen tarkoitettu IVNA-menetelmä (in vivo neutron activation analysis) ja yksifotoninen absorptiometria (single photon absorptiometry). Yksifotonista absorptiometriä käytettiin aluksi osteoporoosin tutkimisessa lonkista ja selkärangasta. Ongelmana oli säteilyn vaimentuminen pehmeissä kudoksissa, kunnes aloitettiin kahden fotonin energian käyttö pehmeän kudoksen ja luiden mineraalien arvioimiseksi. Menetelmää nimitettiin kaksifotoniseksi absorptiometriksi (dual-photon absorptiometry). Myöhemmin radionuklidit korvattiin röntgensäteillä ja menetelmää kutsutaan kaksienergisien röntgensäteiden absorptiometriksi. (Heymsfield & Wang 1997.) Röntgensäteet tuotetaan muuntamalla energiaa kun nopeasti liikkuva elektronisuihku hidastetaan yhtäkkiä erityisesti muotoillulla volframista tai volframiseoksesta valmistetusta tyhjiödiodiputkella. Muodostetuissa röntgensäteissä esiintyy laajalti eri fotonin energioita esimerkiksi 15 - 80 KeV. (Pietrobelli ym. 1996.)

On useita menetelmiä, joiden avulla pystytään muodostamaan kaksi tarpeellista energia-aiiketta kaksienergisien röntgensäteiden absorptiometriassa. Yksi tapa on lähettää röntgensäteet maametalleista esimerkiksi samariumista tai seriumista tehdyn K-kuorifiltterin läpi. K-kuori on atomin sisin elektronikuori ja sen elektroneja voidaan irrottaa elektronin kiinnittymisenergiaa vastaavilla samansuuruisilla tai hieman suuremmilla fotonin energioilla. Ne fotonit, joiden energia on yhtä suuri tai suurempi kuin elektronin K-kuorelle kiinnittymisenergia, vaimentuvat kun ne vuorovaikuttavat K-kuoren elektronien kanssa. Tästä ilmiöstä johtuu alkuaineelle ominainen vaimentumisraja, joka on esimerkiksi 40,45 KeV seriumille. Alkuaineen K-kuorirajan ominaisuuksia voidaan käyttää hyväksi fotonifiltterin valmistamisessa. Esimerkiksi seriumilla suodatettu röntgensäteiden spektri 80 kV antaa

kaksi pääpiikkiä 38 - 40 KeV ja noin 70 KeV. Toinen vaihtoehto muodostaa kaksienenerginen spektri on pulssittaa röntgensädeputki mittauspisteiden välillä esimerkiksi jos energiapiikit ovat 140 kV ja 70 kV, niin putken voltit ovat vastaavasti 110 KeV ja 43 KeV. (Pietrobelli ym. 1996.)

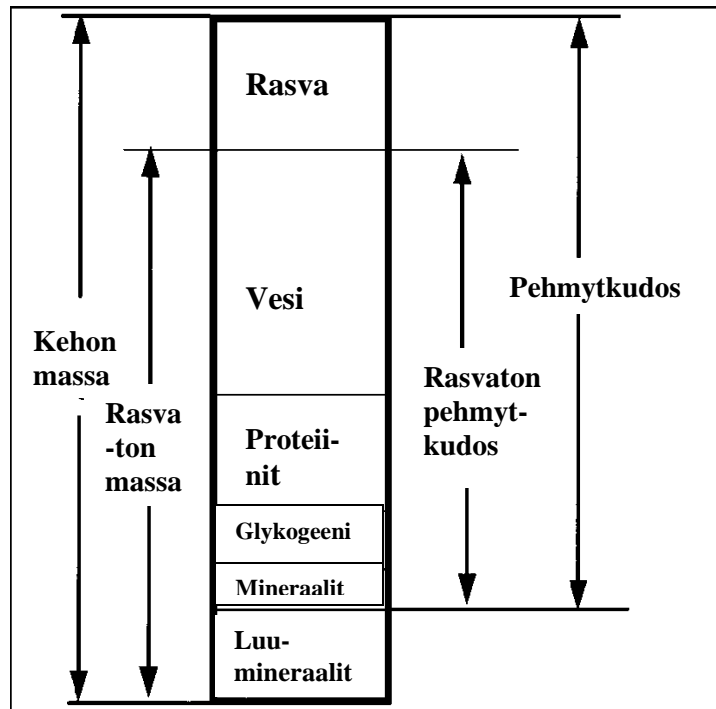
Fotonien energia vaimenee eksponentiaalisesti kun ne kulkevat ihmisen kudosten läpi joko Compton-sironnan tai valosähköisen ilmiön vuoksi imeytymällä tai sironnalla. Vähentynyt fotonin intensiteetti voidaan mitata tavallisesti fotomonistinputkivastaanottimen avulla, jossa on natriumjodidia tukeaineena. Vastaanottimia on erilaisia, mutta kaikissa DXA-laitteissa on röntgensäteiden lähetin ja vastaanotin. DXA-laitteissa on tietty mittausväli eli ikkuna sisältäen käytetylle alkuaineelle ominaiset pääenergiat. Ainoastaan ikkunan sisäpuolelle osuvat energiat lasketaan mukaan kahteen fotonisuihkuun. (Pietrobelli ym. 1996.)

Fotonin yksienergistä vaimentumista homogeenisessä väliaineessa voidaan kuvata yhtälöllä $-d(I/I_0) = \mu * dL$, jossa I_0 on alkuperäinen fotonisuihkon intensiteetti, I vaimentunut fotonin intensiteetti, μ on väliaineen lineaarinen vaimentumiskerroin ja L väliaineen paksuus. Kaava voidaan muuntaa muotoon $I = I_0 e^{-\mu * L}$, jolloin läpikulkeneen fotonin intensiteetti on alkuperäisen fotonin intensiteetin, lineaarisen vaimentumiskertoimen ja väliaineen paksuuden funktio. Koska lineaarinen vaimentumiskerroin on riippuvainen aineen tiheydestä, käytetään eritiheille aineille yleensä massan vaimentumiskertoimia (μ/ρ). Massan vaimenemiskerroin μ_m on vakio tietylle elementille millä tahansa fotonin energialla. Vaimenemiskertoimet ovat määritetty kokeellisesti. Vaimeneminen vähenee kun fotonin energia kasvaa ja vaimeneminen on suurempaa aineille, joilla on suuremmat massan vaimenemiskertoimet. (Pietrobelli ym. 1996.) Fotonin vaimentuminen DXA:n kahdella pääenergialla mille tahansa alkuaineelle on sama kuin kyseisen alkuaineen massan vaimenemiskerroin tietyllä energialla. Vaimentumiseen ihmiskudoksissa vaikuttavat alkuaineiden osuudet ja tyypit fotonin energian lisäksi. Alkuaineet, joilla on pieni atominumero kuten esimerkiksi vety tai hiili, vaimentavat hyvin vähän säteilyn intensiteettiä, mutta suurinumeroiset alkuaineet, esimerkiksi Ca, P, vaimentavat voimakkaasti säteilyä. (Heymsfield & Wang 1997.)

Vaimentumista kahdella DXA:n pääenergialla kuvaa R-arvo, joka on matalan ja korkean pääenergiapiikin vaimentumisen suhde. Tämän mukaan esimerkiksi puhtaan vetykudoksen R-arvo on vedyn massan vaimentumiskertoimien suhde tietyillä energioilla. Energioilla 40 ja 70 KeV, vedyn massan vaimenemiskertoimet ovat 0,3458 ja 0,3175, jolloin R-arvoksi tulee 1,0891. Elävissä kudoksissa, jotka ovat monimutkaisia sekoituksia, mitattu R-arvo kuvastaa jokaisen alkuaineen massaosuutta. Alkuaineilla, joilla on matala atomiluku, on myös alhainen R-arvo, ja korkean atomiluvun alkuaineilla on korkea R-arvo. DXA-laitteet mittaavat jokaisen pikselin R-arvon, Pehmytkudoksessa rasvassa on huomattavan suuri osuus hiiliatomeja, joilla on matala R-arvo, kun taas rasvattomassa kudoksessa on enemmän korkeamman R-arvon happea, typpeä, jäännösmineraaleja ja elektrolyyttejä. Fotonin energioilla 40 ja 70 KeV rasvakudoksen R-arvot vaihtelevat triglyserideistä rasvahappoihin 1,21- 1,23 välillä ja ne koostuvat hiilestä, hapestä ja vedystä. Solunulkoisen ja -sisäisen nesteen R-arvot ovat noin 1,37 – 1,38 natriumin, kaliumin ja kloorin vaikutuksesta. Glykoogenin ($C_6H_{10}O_5$) R-arvo on noin 1,30. Luukudoksesta löytyvillä mineraaleilla kuten kalsiumilla on vielä korkeampi R-arvo ja luukudoksen R-arvo 2,86 onkin huomattavasti korkeampi kuin muilla kudoksissa. (Pietrobelli ym. 1996.)

DXA:n antamaa R-arvoa käytetään tuntemattomien aineiden koostumuksen selvittämiseen. Kahdesta komponentista koostuvan aineen R-arvo voidaan mitata ja tiedetyn massan vaimenemisvakion kahden pääenergian avulla voidaan laskea massaosuudet eri komponenteille. DXA:ssa analysoidaan jokaisen pikselin koostumusta ja ihmiskudokset voidaan jakaa kahdenlaisiin pikseleihin sisältäen joko luumineraaleja ja pehmytkudosta tai rasvatonta ja rasvakudosta. Koska luukudoksen R-arvo on selkeästi suurempi kuin pehmytkudoksen R-arvo, sisältävät kaikki korkean R-arvon pikselit luuta. Analysoinnissa käytetään R-arvon kynnsarvoa luukudosta sisältävien pikselien määrittämiseen. Jokaisen henkilön kehon koostumus ja luukudoksen tiheys vaikuttavat eri kudosten R-arvoihin ja luukudoksen kynnsarvo määräytyy niiden mukaan. Käytetyt algoritmit ovat monimutkaisia ja perustuvat histogrammianalyysiin, tietojen- ja kuvan käsittelytekniikoihin. Luukudoksen analysoimisessa luiden rajat määritetään kuvista ja lisäksi hyödynnetään tietoa, että luukudos on yhtenäistä eivätkä luupikselit voi olla irrallisia. Rasva- ja rasvattoman kudoksen erottaminen toisistaan pehmytkudospikseleissä perustuu myös niiden R-arvoihin. R-arvot

mitataan ensin koepaloista erikseen puhtaalle rasva- ja rasvattomalle kudokselle. Mitattuja R-arvoja hyödyntämällä voidaan matemaattisesti laskea pehmytkudospikselin rasva- ja rasvattoman kudoksen osuudet. Kuvassa 3 on kehon koostumuksen malli DXA-mittauksen näkökulmasta. (Pietrobelli ym. 1996.)



Kuva 3. DXA:lla mitattaessa keho koostuu luumineraaleista, rasvasta ja muusta pehmytkudoksesta. (Pietrobelli ym. 1996.)

Pietrobelli ym. (1996) suorittivat kokeellisia mittauksia todellisten ja teoreettisten R-arvojen yhdenmukaisuuden selvittämiseksi erilaisilla tunnetuilla liuoksilla DXA-skannerilla. Erivahvuiset natriumkloridi-, vehnäproteiini-, etanoli-, glukoosiliuokset valmistettiin sekoittamalla puhdasta ainetta tislattuun veteen. Teoreettiset arvot laskettiin kirjallisuuden pohjalta olettamalla DXA-skannerin tuottavan kaksi energiapiikkiä 40 ja 70 keV. Teoreettiset R-arvot vastasivat hyvin mitattuja arvoja. Pieniä eroja R-arvoissa oli lähinnä natriumkloridiliuoksissa, joissa oli 1-2 % suuremmat mitatut kuin teoreettiset R-arvot. Toisessa kokeellisessa mittauksessa tutkittiin 12 mieskoehenkilön koostumus DXA:lla ja sen jälkeen määritettiin yleisimpien alkuaineiden osuudet kehon koostumuksessa neutroniaktivaatioanalyysillä (N, C, P, Ca, Na ja Cl) ja koko kehon laskennalla (K). Lisäksi

H, O, S ja Mg:n määrät laskettiin mitattujen alkuaineiden määrien perusteella mallien ja tritium-laimennuksen avulla. Mittausten välinen variaatiokerroin vaihteli 1,5 – 4 % välillä eri alkuaineiden ja menetelmien osalta. Teoreettiset R-arvot olivat systemaattisesti 1-1.5 % suurempia kuin mitatut R-arvot. Mittauksissa saattoi olla jokin pieni systemaattinen virhe tai erot saattoivat syntyä analyysin vaatimien monimutkaisten laskelmien tarkkuuden vuoksi. Molempien mittausten perusteella voidaan kuitenkin todeta teoreettisten ja mitattujen R-arvojen olevan yhtäläisiä. (Pietrobelli ym. 1996.)

Kaksienergisen röntgensäteen absorptiometriassa koehenkilö makaa selällään mittalaitteessa kädet ja jalat erillään vartalosta. Koehenkilön sijoittaminen laitteeseen oikealle kohdalle on tärkeää tarkkojen kehon osien luunmääritysten vuoksi. Röntgensäteitä tuottava laite kulkee vaakatasossa koehenkilön yläpuolella kuvaten poikkitaileja 0,6 - 1,0 cm välein koko kehon alueelta. Koko kehon kuvaaminen kestää 5 - 30 minuuttia. Myös yksittäisiä kehon osia kuten esimerkiksi selkäranka voidaan mitata erikseen. Koehenkilön ei tarvitse noudattaa erityisiä toimenpiteitä syömisen tai juomisen suhteen ennen mittausta. (Lohman & Chen 2005 s.69.)

Markkinoilla olevien mittauslaitteiden välillä on pieniä menetelmällisiä eroja. Lunar DXP-laitteessa on käytössä vakiojännitteinen röntgensäteiden lähde ja K-kuorifiltteri 38 ja 70 KeV vakioenergioille. Röntgensäteet muodostetaan koehenkilön alla olevassa pöydässä ja heijastetaan koehenkilön läpi. Koehenkilön yläpuolella liikkuu vaimentuneita säteitä mittaava anturi. Mittalaite kuvaa koko kuvausalueen 60 x 200 cm yhden cm poikkileikkein. Jokainen poikkileike koostuu noin 120 pikselin (5 x 10 mm) vaimentumistiedosta. Vastavasti toinen yleisesti käytössä oleva DXA-laite, Hologic QDR, toimii kahden vuorotellen pulssitettavan röntgensäteiden energian 70 ja 140 keV avulla. Niiden tuloksena syntyvä spektrin maksimifotonin energiat ovat 45 ja 100 KeV. Laitteessa on sisäinen kalibrointisysteemi, jossa on pyörivä kahdesta epoksihartsisesta osasta valmistettu ratas. Jokaisessa mittauspaikassa säde kulkee kalibrointisysteemin läpi tarjoten jatkuvan sisäisen kalibroinnin. Laitteen eri merkkien välillä on pieniä eroja, jotka vaikuttavat lopputuloksen tarkkuuteen. (Lohman & Chen 2005 s.66 - 67.)

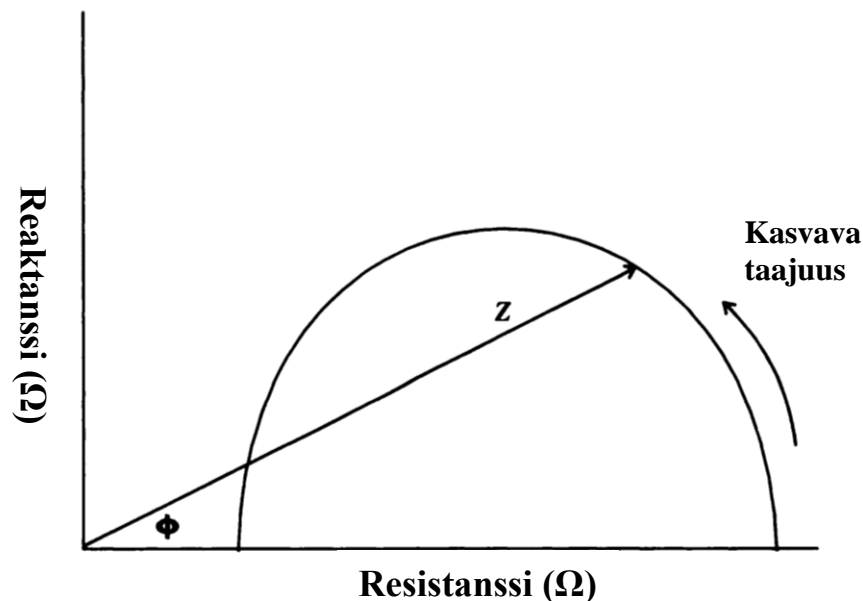
3.2 Biosähköinen impedanssi

Biosähköinen impedanssi perustuu kudosten sähkönjohtavuuteen. Sähkövirta kulkee solunulkoisessa nesteessä, jonka tilavuuden muutokset vaikuttavat sähkön johtavuuteen. Rasvakudos ei sisällä juurikaan vettä eikä se johda sähköä. Nestetilavuuden suureneminen parantaa sähkön johtavuutta ja vastaavasti alhaisempi nestetilavuus alentaa sitä. Lihavilla ihmisillä on suhteellisesti alhaisempi nestetilavuus kuin normaalipainoisilla. Mittaustulokseen vaikuttavat solun ulkoisen vesitulavuuden ja koko kehon nestetilavuuden suhde ja koko kehon vesitulavuuden määrä rasvattomasta kudoksesta. (Fogelholm 2004 s.50.)

Mittaustilanteessa koehenkilö makaa selällään rentona, kädet ja jalat irti vartalosta. Elektrodit kiinnitetään nilkkaan, jalkaterään, ranteeseen ja kämmenselkään puhdistetulle iholle. Sähköä johtavat metalliesineet esimerkiksi korut poistetaan koehenkilöltä ennen mittausta. Nestetilavuuden muutokset vaikuttavat mittaustulokseen, joten koetilanne ja koehenkilön aineenvaihduntaan vaikuttavat seikat on vakioitava mahdollisimman hyvin. Koehenkilön on suositeltavaa olla syömättä edeltävien neljän tunnin ajan, joten paras aika tehdä mittaus on aamulla yön paastoamisen jälkeen. Alkoholien juomista ja runsasta hikoilua on myös vältettävä edellisen vuorokauden aikana. Virtsarakko on hyvä tyhjentää mittausta edeltävän puolen tunnin aikana. Naisille ei voida tehdä mittausta luotettavasti kuukautisten aikana. (Fogelholm 2004 s.50.)

Biosähköisen impedanssin peruseräiteeseen kuuluvat impedanssin ja resistanssin käsitteet. Impedanssi on taajuudesta riippuvainen vaihtovirtavastus. Impedanssi (Z) määritellään resistanssin (R) ja reaktanssin (X_c) vektorisuhteena tietyllä taajuudella yhtälön $Z^2 = R^2 + X_c^2$ mukaan. Resistanssi eli sähkövastus kuvaa johtimen kykyä vastustaa virtaa. (Chumlea & Sun 2005.) Ohmin lain mukaan resistanssi on yhtä suuri kuin jännitteen (E) suhde sähkövirtaan (I). Biologisissa johteissa sähkövirta kulkee ionien mukana nesteissä, joten johtavuus riippuu ionien määrästä tietyssä nestetilavuudessa. Reaktanssi on kapasitanssin käänteisluku tai jännite, joka on varastoitunut kondensaattoriin hetkellisesti. Kehossa reaktanssi liittyy polarisaatioon eli elektrokemiallisten yhdisteiden varausten erotukseen, joita voivat aiheuttaa solukalvot ja kudosten rajapinnat. (Lukaski 1996.)

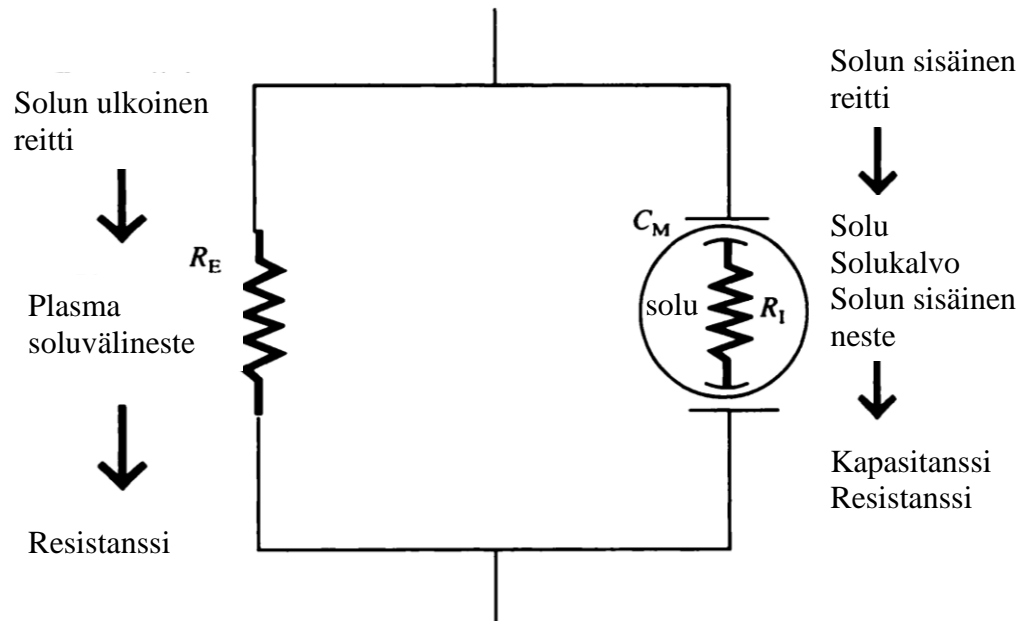
Impedanssi voidaan kuvata geometrisesti reaktanssin ja resistanssin suhteen, kuva 4. Alhaisilla taajuuksilla solukalvojen ja kudosten rajapintojen välinen impedanssi on liian suuri, jotta virta johtuisi soluissa. Virta johtuu ainoastaan nesteiden ja elektrolyyttien mukana solunulkoisessa nesteessä. Tällöin impedanssi on yhtä suuri kuin resistanssi ja reaktanssi on nolla. Kun virran taajuus kasvaa, virta tunkeutuu solukalvojen ja kudosten rajapintojen väliin aiheuttaen reaktanssin kasvamisen ja resistanssin alenemisen. Tietyllä taajuudella reaktanssi on suurin ja sitä suuremmilla taajuuksilla reaktanssi jälleen pienenee. Impedanssin vektori muodostaa vaihekulman resistanssin vektorin kanssa kun taajuus nousee matalasta korkeaan. Vaihekulma ϕ on reaktanssin ja resistanssin suhteen arkustangentti. (Lukaski 1996.)



Kuva 4. Impedanssin kuvaaja reaktanssin ja resistanssin suhteen (Lukaski 1996).

Impedanssia elävässä kehossa voidaan kuvata yksinkertaisella sähköopin kaaviolla kuten kuvassa 5, joka esittää solun sähköistä piiriä. Solun piiriin kuuluvat solunulkoinen ja sisäinen reitti. Solunulkoisessa reitissä resistanssiin vaikuttavat solunulkoisen nesteen määrä ja koostumus. Solun sisäinen reitti on monimutkaisempi sisältäen solukalvojen kapasitanssin ja muun resistanssin. Solun sähköisen piirin malliin kuuluvat solunsisäinen ja ulkoinen johde ja solukalvon kapasitanssi, jotka voidaan esittää bioelektristen muuttujien avulla. Ihmiskehossa on useita erilaisia solujen koostumuksia, joilla on useita resistanssin ja

kapasitanssin ominaisuuksia sarjassa ja rinnan. Sarjakytkenässä impedanssi voidaan ilmaista yhtälön $Z^2 = R^2 + Xc^2$ avulla ja rinnan kytkennässä niiden yhtälön vastalukujen avulla eli $Z^{-2} = R^{-2} + Xc^{-2}$. (Lukaski 1996.)



Kuva 5. Solun sähköinen piiri, jossa R_E on solun ulkoinen resistanssi, C_M solukalvojen kapasitiivinen vaikutus ja R_I on solun sisäinen resistanssi (Lukaski 1996).

Ihmisen keho voidaan ajatella sylinterimäisenä koostumukseltaan homogeenisena johtimena, jolla on samansuuruinen poikkipinta-ala ja tietty pituus L . Impedanssi on suoraan verrannollinen johtimen pituuteen ja kääntäen verrannollinen johtimen poikkipinta-alaan A . Impedanssi voidaan siis ilmaista $Z = \rho L / A$ tai $Z = \rho L^2 / V$, jossa ρ on johtimen resistiivisyys ja V johtimen tilavuus. (Lukaski 1996; Kyle ym. 2004.) Ihmisen seisomapituus vastaa johtimen pituutta, koska se on helpompi mitata kuin todellinen johtimen pituus, joka on mittaustilanteessa elektrodien välimatka eli yleensä ranteesta nilkkaan. Todellisuudessa ihmisen keho ei ole homogeeninen johdin vaan eri kehon osilla on erilainen resistiivisyys. Kokeellinen tilanne vastaakin rasvattoman massan osuutta, kun nestepitoisuus on 73 % ja L^2 / R . Koska termi L^2 / R on voimassa sylinterille pitää sovelluksissa käyttää korjauskertoimia, joissa otetaan huomioon mm. anatomiset eroavaisuudet. (Kyle ym. 2004.)

Biosähköisen impedanssin mittaamisessa voidaan käyttää eritaajuisia menetelmiä. Yksitaajuisessa BIA:ssa käytetään yleensä 50 kHz taajuutta. Elektrodit sijoitetaan yleisimmin käteen ja jalkaan, mutta on myös laitteita, joissa ne voidaan sijoittaa molemmat käsiin tai molemmat jalkoihin. Taajuudella 50 kHz BIA:ssa mitataan solunulkoisen nesteen ja solunsisäisen nesteen resistanssien summaa. Menetelmä arvioi koko kehon nesteen määrää ja rasvattoman massan määrää, mutta ei pysty erottelemaan solunsisäisen nesteen tilavuuden muutoksia. Kehonkoostumus lasketaan matemaattisten yhtälöiden avulla, joissa huomioidaan BIA:n antamat arvot kehon nestetilavuuksille ja muita antropometrisia arvoja. Yhtälöitä on erilaisia eri laitevalmistajilla. Yksitaajuisista BIA:a voidaan käyttää terveillä, normaalisti nesteytyneillä koehenkilöillä arvioimaan rasvattoman massan määrää tai kokonaisnestetilavuutta. (Chumlea ym. 1996; Kyle ym. 2004.)

Monitaajuinen BIA käyttää impedanssia useilla taajuuksilla 0 - 500 kHz välillä. Menetelmä perustuu impedanssin alenemiseen suurenevilla taajuuksilla. Alhaisilla taajuuksilla sähkö johtuu solujen sisäpuolella ja suurilla taajuuksilla solujen ulkopuolella. Alhaiset taajuudet (<10 kHz) ovat hyviä solunulkoisen nesteen arvioinnissa ja korkeammat taajuudet esimerkiksi 100 kHz tai 1 MHz solunsisäisen nesteen arvioinnissa. Monitaajuinen BIA on tarkempi menetelmä solunulkoisen nesteen arvioimisessa kuin yksitaajuinen BIA. (Lukaski 1996; Kyle ym. 2004.)

3.3 Ihopoimumittaus

Ihopoimumittauksessa mitataan ihopoimujen paksuutta kahdesta tai useammasta kohdasta kehosta mittauspihdeillä. Mittaus perustuu tietoon, että kehon rasvasta noin puolet sijaitsee ihonalaisena rasvakudoksena. Eri ihmisillä ihonalaisen rasvan jakaantuminen eri puolille kehoa kuitenkin vaihtelee, joten mittauspaikkojen valitseminen vaikuttaa tulokseen. Ihopoimujen paksuus lasketaan yhteen ja summa sijoitetaan ennusteyhtälöön, jonka avulla saadaan laskettua arvio kehon rasvaprosentista. Yleisin Suomessa käytetty menetelmä on neljän ihopoimun avulla mitattu tulos. Neljä yleisintä mittauskohtaa ovat: triceps (olkavarren ojentajalihas), biceps (hauislihas), lavalanus- ja suprailikaali- (suoliluunharju)

ihopoimu. Näiden neljän ihopoimun summa sijoitetaan Durnin ja Womersleyn (1974) yhtälöön ja iän ja sukupuolen huomioivan muuntotaulukon perusteella saadaan rasvaprosentti. (Fogelholm 2004 s.48 - 50.)

Ihopoimumittaukset suoritetaan koehenkilön seistessä ja oikealta puolen kehoa. Sormilla otetaan tukeva ote ihopoimusta halutusta mittauskohdasta ja asetetaan pihdit poimun ympärille. Tulos luetaan kahden sekunnin kuluttua millimetreinä. Jokaisen poimun paksuus mitataan kolme kertaa ja tulos on niiden keskiarvo. (Fogelholm 2004 s.48 - 50.) Ihopoimun paksuudessa on mukana ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuus. Ihon kaksinkertainen paksuus on noin 1,8 mm, mutta siinä on vaihtelua eri henkilöillä ja eri mittauskohdissa. Ihonalaisessa rasvakudoksessa on rasvasoluja, joissa on triglyseridejä, ja lisäksi sidekudosta, jossa on verisuonia, hermoja ja kudostenestettä. Pihtien aikaansaama paine vähentää kudostenesteen määrää mittauskohdassa, joten turvotus ei vaikuta mittaustulokseen kuten ympärystimitoihin. Paineen vaikutuksesta jotkin rasvasolut saattavat liukua pihtien välistä pois ja tätä tapahtuu useammin suurilla ihopoimun paksuuksilla, jolloin sidekudosta on suhteellisesti vähemmän. Ihonalaisen rasvakudoksen puristuvuus riippuu ihopoimun mittauskohdasta, iästä, sukupuolesta ja edeltävästä painonpudotuksesta. (Bellisari & Roche 2005 s.110.)

Mittaajan tekniikka ja käytetyn yhtälön valinta vaikuttavat lopputulokseen. Eri mittaajien saamat tulokset eivät ole vertailukelpoisia eikä eri henkilöiden tuloksia kannata vertailla keskenään rasvan epätasaisen jakautumisen vuoksi. Ihopoimumittaus soveltuu paremmin pitkäaikaisseurantaan, jos on sama mittaaja. Hyvin lihavilla ihopoimujen mittaaminen voi olla vaikeaa ja antaa epäluotettavan tuloksen esimerkiksi seurannassa. (Fogelholm 2004 s.50.)

4 KEHON KOOSTUMUKSEN ARVIOINTIMENETELMIEN LUOTETTAVUUS JA TOISTETTAVUUS

Aiemmin kehon koostumusta mittaavien menetelmien vertailu tehtiin kehon tiheyteen perustuviin menetelmiin kuten vedenalaiseen punnitusmenetelmään vertaamalla. Vedenalaispunnitus on 2-komponenttimalli, joka mittaa rasvattoman ja rasvamassan määrän. Kehon tiheyden arvioimisessa on ollut käytössä perusoletus, että rasvamassan tiheys on 0,9 kg / l ja rasvattoman massan tiheys on 1,1 kg / l. Todellisuudessa rasvattoman massan tiheydessä on yksilöiden välisiä eroja, joista aiheutuu biologisia virhelähteitä. Suurimmat erot rasvattoman massan koostumuksessa ovat veden ja mineraalien määrissä. 4-C-mallit pystyvät erottelmaan rasvan lisäksi myös veden, mineraalien ja proteiinien osuudet, joten ne ovat tarkempia menetelmiä kuin perinteinen vedenalaispunnitus. Uusimmat kehon koostumuksen arvioimismenetelmien luotettavuus- ja tarkkuustutkimukset ovat tehty 4-C-malleihin vertaamalla. (Evans ym. 1999.)

Evans ym. (1999) tutkivat ylipainoisten naisten painonpudotuksen vaikutuksia kehon koostumukseen 4-komponentin mallilla, vedenalaispunnituksella, DXA:lla, BIA:lla ja ihopaimujen paksuusmittauksella. 4-C-mallissa elimistön veden määrä mitattiin deuteriumoksiidi-laimennuksella ja kehon mineraalipitoisuus DXA:lla (Hologic QDR-1000W). Rasvaprosentti määritettiin DXA:lla ja viidellä muulla menetelmällä. Kehon tiheyden avulla laskettiin rasvaprosentti käyttäen Sirin yhtälöä: $\text{rasvaprosentti} = (495 / d) - 450$, jolloin oletettiin rasvan tiheydeksi 0,9 kg / L ja rasvattoman massan tiheydeksi 1,1 kg / L. 4-C-mallin rasvaprosentti, rasvaton massa ja proteiinipitoisuus määritettiin erilaisten yhtälöiden avulla.

Koehenkilöt olivat jaettuna kolmeen ryhmään (n = 9 / ryhmä), (C) kontrolli-, (DO) ruokavalio- ja (DE) ruokavalio ja liikunta -ryhmiin, joilla painonpudotusjakso kesti 16 viikkoa. Rasvaprosentin muutokset DXA:lla, BIA:lla ja SF:lla korreloivat voimakkaammin 4-C-mallin kuin vedenalaisen punnituksen tuloksiin. Tämä selittyi Sirin yhtälön puutteellisuudella huomioida rasvattoman massan vesi- ja mineraalikoostumus ja aiheuttaa biologi-

sen virhelähteen vedenalaisen punnituksen tuloksiin. Tästä myös seuraa, että DXA:n, BIA:n ja SF:n kyky näyttää muutokset kehon koostumuksessa oli parempi kuin aiemmissa tutkimuksissa, joissa menetelmiä oli verrattu vedenalaiseen punnitukseen. (Evans ym. 1999.)

4.1 Kaksienergisen röntgensäteen absorptiometrian luotettavuus ja toistettavuus

Uusimmat kehon koostumuksen tutkimukset, joissa on selvitetty DXA:n luotettavuutta ja tarkkuutta mittaamenetelmänä on tehty vertaamalla tuloksia 4-C-malliin ja yleisesti DXA:n on havaittu korreloivan erinomaisesti 4-C-mallin tulosten kanssa. Prior ym. (1997) tutkivat DXA:n tarkkuutta suhteessa 4-C-malliin ja vedenalaiseen punnitukseen 81 naiselta ja 91 mieheltä. Koehenkilöt kuuluivat eri etnisiin ryhmiin ja heistä osa oli urheilijoita ja osa tavallisia yliopisto-opiskelijoita. Tutkijat havaitsivat DXA:lla (Hologic QDR-1000W) mitatun rasvaprosentin korreloivan paremmin 4-C-mallin rasvaprosentin kanssa kuin vedenalaispunnituksen. Pienet erot DXA:n ja 4-C-mallin tulosten välillä olivat lievästi yhteydessä kehon paksuuteen, mutta eivät koehenkilöiden sukupuoleen, rotuun, urheilijastatukseen tai kehon muotoon. DXA:lla mitatun rasvaprosentin virhe 4-C-malliin verrattuna oli vain 2,8 % heijastaen menetelmän hyvää tarkkuutta. (Prior ym. 1997.)

Eri tutkijaryhmät ovat saaneet hieman erilaisia tuloksia DXA:n luotettavuudesta ja tarkkuudesta. Evans ym. (1999) ylipainoisten naisten painonpudotustutkimuksessa kontrolliryhmällä DXA (47,2 %) yliarvioi rasvaprosentin 4-C-malliin (43,1 %) nähden alussa tilastollisesti merkitsevästi $p < 0,0013$, mutta muilla menetelmillä (BIA ja SF) ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja 4-C-malliin verrattuna millään koehenkilöryhmällä. Lisäksi DXA yliarvioi rasvaprosentin muutoksen suuruuden 4-C-malliin nähden DO- ja DE -ryhmillä, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. (Evans ym. 1999.) Van Der Ploeg ym. (2003) havaitsivat tutkimuksessaan 152 eri-ikäiseltä (17,9 - 58,7 v) ja eri painoiselta (45,36 - 115,21 kg) koehenkilöllä DXA:n (18,9 %) aliarvioivan rasvaprosenttia 4-C-malliin (20,7 %) nähden vaikka menetelmät korreloivat vahvasti, $r^2 = 0,952$. DXA:n mittauksessa oli käytetty Lunar

DPX-L-laitetta. Pienten erojen arveltiin syntyneen koehenkilöiden etu-taka-suuntaisten kudosten paksuuden eroista johtuen DXA-mittauksissa, mutta ei koehenkilöiden nestetasapainosta. (Van Der Ploeg ym. 2003.)

Mazess ym. (1990) tutkivat DXA:n luotettavuutta ja toistettavuutta *in vivo*- ja *in vitro*-tutkimuksilla. He selvittivät eristettyjen 10 cm paksuisten luurankomallien avulla DXA:n (Lunar DPX) luotettavuutta ja tarkkuutta verrattuna 12 nuorella aikuisella tehtyyn koko vartalon DXA-analyysiin. Tarkkuusvirhe (1 keskihajonnan verran) luun mineraalitiheydelle oli alle $0,01 \text{ g / cm}^3$, ja vastaavasti virhemarginaalit olivat: rasvan prosentuaalinen osuus pehmytkudoksessa 1,4 %, rasvamassa 1,0 kg ja rasvaton massa 0,8 kg. DXA-kuvaukset tehtiin lisäksi kahdella eri nopeudella viiteen kertaan seitsemän päivän aikana. Kuvausmenetelmät olivat luotettavia eri nopeuksilla ja kuvantaminen oli toistettavaa eri päivinä. Rasvaprosentin määrittäminen keskivartalosta on myös tutkijoiden mukaan mahdollista, sillä keskivartalosta mitattu rasvaprosentti korreloi vahvasti koko kehon rasvaprosentin kanssa, $r = 0,996$ ja virheen osuus vain 0,9 %. Tutkijoiden mukaan DXA on luotettava ja tarkka menetelmä kehon koostumuksen määrittämiseen. (Mazess ym. 1990.)

Glickman ym. (2004) tutkivat kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometriä luotettavuutta ja toistettavuutta vatsan seudun pehmytkudoksen koostumuksen määrittelemisessä. Tietokonekerroskuvausta (CT) on pidetty luotettavimpana ja tarkimpana menetelmänä keskivartalon seudun (selkänikamien L1-L4 välillä) koostumuksen määrittelemisessä, mutta CT:ssa mitattava henkilö altistuu ionisoivalle säteilylle eikä mittauslaitteita ole kovin paljon. DXA:a on ehdotettu vaihtoehtona, koska mittaus on nopeampi ja röntgensäteilystä ei aiheudu juurikaan ionisoivan säteilyn haittoja koehenkilöille. Tutkijat selvittivät DXA:n soveltuvuutta vatsan seudun koostumuksen selvittämiseen kolmessa eri tutkimuksessa. Ensimmäisessä tutkimuksessa selvitettiin DXA:n luotettavuutta mittaamalla L1 - L4 välinen alue sekä DXA:lla (Lunar DPX-IQ) että CT:lla (Picker PQ5000) samana päivänä 27 koehenkilöltä. Monileiketietokonekerroskuvaus ja kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometria korreloivat vahvasti sekä pehmytkudosmassan että rasvamassan suhteen, vaikka DXA:lla mitatut pehmytkudos- ja rasvamassan määrät olivat merkitsevästi pienempiä kuin CT:lla mitatut arvot. Rasvamassan määrä oli 26 % pienempi DXA:lla mitattuna kuin

CT:lla. Bland-Altmanin testin mukaan menetelmät ovat yhtäpitäviä. Erot menetelmien välillä rasva- ja pehmytkudosmassan suhteen saattoivat selittyä mittausteknisillä systemaattisilla virheillä. (Glickman ym. 2004.)

Toisessa tutkimuksessa Glickman ym. (2004) selvittivät DXA:n luotettavuutta vatsan seudun pehmytkudosalueen muutosten havaitsemisessa. Koehenkilöiden keskivartalo (L1-L4) kuvattiin DXA:lla ennen ja sen jälkeen kun vatsan päälle asetettiin rasvapaketteja. Rasvan määrän lisäys (0,5 - 1,0 kg) oli noin 10 % lisäys keskivartalon seudun rasvamäärään. Koehenkilö oli maaten ja paikallaan mittausslaitteessa kun rasvapaketit lisättiin ensimmäisen DXA-mittauksen jälkeen. Rasvapaketin rasvapitoisuus oli 91,84 % ja koostumus määritettiin kemiallisesti. DXA-mittalaite havaitsi pehmytkudosmassan ja rasvamassan lisäyksen rasvapaketin lisäämisen jälkeen. Kun lisätyn rasvan määrä laskettiin ja DXA:n tuloksia ennen ja jälkeen rasvan lisäyksen verrattiin, todettiin DXA:n tulosten rasvanlisäyksen jälkeen aliarvioivan rasvan määrää verrattuna alkuperäiseen mittaukseen ilman lisättyä rasvaa. DXA laski rasvanlisäyksen olleen ainoastaan 78 % todellisesta määrästä. Glickman ym. totesivat muutoksen olevan paremmin arvioitu kuin aiemmissa tutkimuksissa, joihin he viittaavat raportissaan. (Glickman ym. 2004.)

Glickman ym. (2004) selvittivät myös mittaajan vaikutusta tulosten luotettavuuteen kun kolme teknikkaa ohjeistettiin samalla tavoin ottamaan DXA - kuvat L1 - L4 -alueelta keskivartalosta. Jokainen teknikko määritteli manuaalisesti L1 - L4 -alueen luisia määrittejä hyväksi käyttäen 43 kuvasta. Teknikkojen välillä ei ollut merkitseviä eroja analysointituloksissa kokonaismassan, rasvamassan, rasvattoman massan tai luiden osalta. (Glickman ym. 2004.)

Pietrobelli ym.(1996) tutkivat nesteytyksen vaikutuksia DXA:n tuloksiin rasvan osuudesta. Nestetilavuuden muutoksia esiintyy monissa sairaustiloissa. Kun nesteen määrää kudoksessa lisätään tai vähennetään, pitäisi kudoksen R-arvoissa näkyä lineaarinen muutos. Koikeessa käytettiin naudanlihaa, joka edusti lihaskudosta, ja 0,9 % suolaliuosta, joka vastasi solunulkoista nestettä. Puhtaan naudanlihan ja suolaliuoksen R-arvot mitattiin ensin DXA:lla. Naudanlihasta ja suolaliuoksesta tehtiin kolme erilaista yhdistelmää ottamalla

naudanlihasta tietty määrä pois ja korvaamalla se samanmassaisella määrällä suolaliuosta nesteen osuuden lisäämiseksi. Puhtaan naudanlihan ja suolaliuoksen R-arvojen perusteella jokaiselle seokselle laskettiin ennuste-R-arvot. DXA-mittauksista saatiin vastaavat mitatut R-arvot. Ennuste- ja mitattujen R-arvoja verrattiin toisiinsa ja tulosten perusteella todettiin mitattujen R-arvojen vastaavan ennustettuja R-arvoja. DXA-menetelmä havaitsi siis muutokset nestetilavuuden määrässä eivätkä R-arvot ole riippuvaisia molekyyliarakenteesta tai aineen olomuodosta. (Pietrobelli ym. 1996.)

4.2 Biosähköisen impedanssin ja ihopoimujen paksuusmittauksen luotettavuus ja toistettavuus verrattuna kaksienergisestä röntgensäteestä absorptiometriin

Bowden ym. (2005) tutkivat biosähköisen impedanssin, ihopoimujen paksuuden ja kehon painoindeksiä luotettavuutta kehon koostumuksen mittaamisessa DXA:n verrattuna. Terveillä, liikuntaa harrastamattomilla valkoisilla opiskelijoilla (n = 108) tehdyssä tutkimuksessa havaittiin kolmen pisteen ihopoimumittauksen korreloivan parhaiten DXA:n kanssa (0,824, p < 0,001). Regressioanalyysin perusteella ihopoimujen paksuus selitti DXA:a 67,5 %. Ihopoimut mitattiin miehillä rinnasta, vatsasta ja reidestä ja naisilla, olkavarresta, lavan alta ja reidestä kehon oikealta puolelta. Yksitaajuinen BIA ennusti DXA:a (12,1 %) ja korreloi hyvin (0,798) DXA:n tulosten kanssa. Kehon painoindeksi korreloi (0,197) ja selitti (2,6 %) heikosti DXA:a. (Bowden ym. 2005.)

4.3 Kehon koostumuksen muutoksien havaitseminen

Neovius ym. (2007) selvittivät miten DXA ja BIA arvioivat kehon koostumuksen muutoksia puolen vuoden painonpudotustutkimuksessa 106 ylipainoiselta naiselta. Kehon koostumus mitattiin ennen ja jälkeen puolen vuoden harjoitteluun perustuvan painonpudotuksen jälkeen. Kehon massa oli keskimäärin 84,6 kg ± 10,0 ja lopussa 83,9 kg ± 10,7, joten muutos oli keskimäärin -0,7 kg ± 3,4 ja se oli merkitsevä p = 0,03 tarkkuudella. Tuloksien perusteella rasvaprosentin määrittäminen erosi toisistaan sekä alussa että lopussa

ja muutoksen suhteen merkitsevästi. BIA:lla mitatut rasvaprosentit olivat alhaisempia kuin DXA:lla mitatut, alussa 5,0 % (DXA 45,8 % \pm 3,6 ja BIA 40,8 % \pm 3,4) ja seurannassa 4,4 % (DXA 44,7 % \pm 4,8 ja BIA 40,3 % \pm 4,6). Muutosta kuvaavat menetelmien väliset erot olivat kuitenkin pieniä. Erot olivat suurimmillaan erityisen lihavilla, joten BIA:ssa on heikkouksia lihaviin kehon koostumuksen arvioimisessa ja muutosten havaitsemisessa. (Neovius ym. 2007.)

Jebb ym. (2007) selvittivät eri kehon koostumusta mittaavien menetelmien luotettavuutta ja tarkkuutta vuoden kestävä tutkimuksen aikana. Tutkimukseen osallistui 58 ylipainoista (BMI > 25) naista, joilla oli ensin painonpudotusjakso 12 vk ja sen jälkeen loppuvuoden aikana heidän (n = 48) painonsa nousi. Koehenkilöiden lähtöpaino oli 85,8 \pm 8,5 kg ja he pudottivat painoa 9,9 \pm 3,5 kg ja painoa tuli takaisin 4,9 \pm 3,7 kg loppuvuoden aikana. Rasvamassa mitattiin 3- (3-C) ja 4-komponentin (4-C) malleilla, ilman pletysmografialla (ADP), DXA:lla, ihopoimujen paksuusmittauksella (SF), jalasta jalkaan biosähköisellä impedanssilla (LTL) ja nelipolaarisella BIA:lla (T-BIA). Deuterium-laimennuksella mitattiin veden kokonaismäärä, TBW, ja sitä hyödynnettiin 3-C ja 4-C malleissa. Rasvamassan määrä vaihteli eri menetelmillä mitattuna 34,9 - 39,3 kg välillä alussa. Rasvamassan väheneminen oli 5,20 - 8,67 kg ensimmäisen 12 viikon aikana ja lisäys 3,91 - 5,23 kg loppuvuoden aikana eri menetelmillä mitattuna. (Jebb ym. 2007.)

Monikomponenttimalleja pidetään luotettavimpina menetelminä kehon koostumuksen arvioimisessa, joten muita menetelmiä verrattiin niihin. 3-C ja 4-C mallit korreloivat vahvasti keskenään kaikilla mitatuilla muuttujilla paitsi luun mineraalikoostumuksessa. DXA:n tarkkuus oli alhaisempi (korrelaatiokerroin $r = 0,84$, $p < 0,001$) kuin ADP ($r = 0,86$) ja TBW ($r = 0,90$) mittausten painonmuutosten osalta, kun menetelmiä verrattiin 4-C-menetelmään. Jalasta jalkaan mitatun bioimpedanssin tarkkuus oli hieman parempi ($r = 0,88$, $p < 0,001$) kuin DXA:lla ja korostui painon nousussa. LTL-menetelmä oli tarkin arviointimenetelmä ja se arvioi sekä painonpudotuksen että painon nousun luotettavasti verrattaessa 3-C ja 4-C-malleihin. Ihopoimuumittaus korreloi heikommin 4-C-mallin kanssa, $r = 0,39$, $p < 0,001$. (Jebb ym. 2007.)

5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kolmen eri menetelmän yhtäläisyyksiä kehon koostumuksen arvioimisessa. Kehon koostumusta mitattiin ihopoimuumittauksella, biosähköisellä impedanssilla ja kaksienergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla. Rasvaprosentti voidaan mitata kaikilla kolmella menetelmällä ja tarkoitus oli verrata eri menetelmillä saatuja tuloksia.

Tutkimusongelmat

1. Eroavatko kaksienergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimuumittauksella mitatut kehon rasvaprosentit toisistaan.
2. Ovatko kehon koostumuksen muutokset havaittavissa ja yhtä suuria DXA:lla, BIA:lla ja ihopoimuumittauksella.

Hypoteesit

1. H0: Kaksienergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimuumittauksella mitatut kehon rasvaprosentit eivät eroa toisistaan.
H1: Kaksienergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimuumittauksella mitatut kehon rasvaprosentit eroavat toisistaan.
2. H0: Kehon koostumuksen muutokset eivät ole havaittavissa tai ovat erisuuruisia DXA:lla, BIA:lla ja ihopoimujen paksuudella mitattuna.
H1: Kehon koostumuksen muutokset ovat havaittavissa ja ovat yhtäsuuria DXA:lla, BIA:lla ja ihopoimujen paksuudella mitattuna.

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä oli 41 nuorta ja tervettä vapaaehtoista, joista 21 oli miehiä ja 18 naisia. Miehet olivat iältään 18 - 30 -vuotiaita ja pelasivat kahden korkeimman sarjataso jalkapallojoukkueissa Jyväskylässä. Jalkapalloilijat harjoittelivat joukkueen harjoitteluohjelman mukaisesti kuukauden ajan. Normaalipainoiset (BMI 21 - 26) 20 - 40 -vuotiaat naiset olivat kuntoilijoita ja osallistuivat vapaaehtoisesti painonpudotustutkimukseen. Naisille oli laadittu yksilöllinen ruokavalio, jota he noudattivat kuukauden ajan. Tutkimuksella oli Jyväskylän eettisen toimikunnan hyväksyntä.

6.2 Koeasetelma

Koehenkilöt osallistuivat kahteen erilliseen tutkimukseen, naiset, $n = 18$, normaalipainoisten painonpudotus- ja miehet, $n = 21$, ravintolisätutkimukseen. Molemmissa tutkimuksissa tehtiin samanlaiset alku- ja loppumittaukset keväällä 2008. Alku- ja loppumittausten välissä oli yksi kuukausi. Alku- ja loppumittauksissa määritettiin kehon koostumus kolmella eri menetelmällä, ihopoimiumittauksella, biosähköisellä impedanssilla ja kaksiennergisen röntgensäteiden absorptiometrialla. Lisäksi mittauksissa oli erilaisia suorituskykytestejä kehon koostumuksen mittausten jälkeen liittyen muihin tutkimuksiin. Koehenkilöt täyttivät ravintopäiväkirjaa viiden päivän ajalta tutkimusjaksolta.

Naiset osallistuivat tutkimukseen, jossa selvitettiin neljän viikon matalaenergisestä ja korkea-proteiinipitoisen ruokavalion vaikutuksia rasvakudokseen ja lihasmassaan. Tutkimuksessa mitattiin myös painonpudotuksen vaikutusta testosteronitasoihin ja lihasvoimaan. Naisten painonpudotusta seurattiin viikoittain tehtävillä kontrolleilla ja ravintopäiväkirjojen avulla. Naiset noudattivat ohjeistettua ruokavaliota, mutta heillä ei ollut erityistä liikuntaohjelmaa.

Naisia oli suositettu liikkumaan koejaksolla samoin kuin ennenkin ja kirjaamaan ylös liikuntasuoritukset liikuntapäiväkirjaan.

Miehet olivat jalkapalloilijoita ja he harjoittelivat joukkueensa mukana ja valmentajien antamien ohjeiden mukaan. Harjoittelujaksolla oli jalkapallon lajiharjoituksia, harjoitusotteluita ja lajiharjoitusten lisäksi fyysisiä ominaisuuksia parantavia oheisharjoitteita esimerkiksi erillisiä voimaharjoituksia 1 - 2 kertaa viikossa. Miehillä ei ollut erillisiä ruokailuohjeita. Sen sijaan miehet osallistuivat ravintolisätutkimukseen ja heistä puolet oli ravintolisätutkimuksen koeryhmässä ja puolet placebo-ryhmässä. Ravintolisillä ei ollut merkittävää vaikutusta tämän tutkimuksen tuloksiin.

6.3 Aineiston keräys

Antropometriin mittauksiin kuuluivat paino, pituus, ihopoimujen paksuus, biosähköinen impedanssi ja kaksiennergisen röntgensäteiden absorptiometria. Miesten mittauksissa paino, seisomapituus ja ihopoimujen paksuus mitattiin Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen tutkimustiloissa Vivecassa ja biosähköinen impedanssi KIHU:n laboratoriossa yöpaaston jälkeen. DXA-mittaukset tehtiin Suomen terveystalolla Jyväskylässä 1-4 päivää suorituskykymittausten jälkeen. Miehillä oli kaikilla vähintään 30 vuorokautta alku- ja loppu-DXA-mittausten välillä. Miehet harjoittelivat normaalisti koejakson ajan. Ihopoimumittaukset suoritti sama mittaaja sekä alku- että loppumittauksissa.

Naisten mittauspäivänä mitattiin aamulla yöpaaston jälkeen paino, pituus ja biosähköinen impedanssi ennen suorituskykymuuttujia Liikuntabiologian laitoksen tutkimustiloissa. Tutkimuksessa käytetyt paino ja ihopoimumittaukset mitattiin DXA-mittausten yhteydessä Suomen terveystalolla Jyväskylässä. Ihopoimumittaukset suoritti Terveystalon työntekijä. Seisomapituuden ja painon avulla laskettiin kehon painoindeksi (body mass index, BMI).

6.4 Aineiston analyysi

Paino mitattiin kymmenesosakilon tarkkuudella elektronisella vaa'alla, joka oli sama kaikille koehenkilöille. Pituus mitattiin millimetrin tarkkuudella ilman kenkiä koehenkilön seistessä seinää vasten mittanauhan kohdalla. Mittanauhan tasainen pää laskettiin koehenkilön pään päälle, jolloin pituus oli luettavissa mittanauhasta. Painoindeksi, BMI, laskettiin jakamalla massa (kg) pituuden (m) neliöllä. Ikä laskettiin vuosina koehenkilöiden syntymäajoista.

Tutkimuksissa käytetty DXA-laite, Lunar Prodigy densitometer, GE Lunar corporation, Madison WI, USA, oli sama kaikille koehenkilöille (n = 31) ja mittaukset teki Suomen terveystalon työntekijä. Koehenkilöt makasivat DXA-mittauksessa selällään alusvaatteisillaan ilman koruja tai kelloa. Mittaaja asetteli koehenkilöt oikeaan asentoon ja oikealle kohdalle mittauspöydällä. Lunar Prodigy -laite heijasti röntgensäteet koehenkilön alla olevasta pöydästä koehenkilön läpi koehenkilön yläpuolella liikkuvaan havaitsimeen. Koehenkilöstä muodostettiin poikkileikkeet yhden cm välein koko kehon alueelta. Jokainen yksittäinen poikkileike muodostui noin 120 pikselistä, jotka kattoivat 5 x 10 mm pinta-alan. Tietokoneohjelma muodosti poikkileikkeistä kokonaiskuvan koehenkilöstä. Analysointiohjelman avulla tulokseksi saatiin koko keholle ja ruumiin osittain mm. kehon massa ja tiheys, lihas-, rasva- ja rasvaton massa, kudosten ja luun massa ja kehon rasvaprosentti. (GE Healthcare 2010; Lohman & Chen 2005 s.66 - 67.)

Biosähköinen impedanssi mitattiin Inbody-laitteella (InBody720 body composition analyzer, Biospace Co. Ltd, Seoul, South Korea), jossa koehenkilöt seisoivat alusvaatteisillaan laitteen jalka-anturien päällä ja pitivät kädensijoista kiinni mittauksen ajan. Mittausanturit puhdistettiin ennen jokaista koehenkilöä. Inbody720-laitteen kädensijoissa ja jalka-antureissa sijaitsee kahdeksan tetrapolaarista elektrodia. Mittauksen aikana laite suorittaa 30 impedanssi mittausta kuudella eri taajuudella (1, 5, 50, 250, 500 ja 1000 kHz) kaikista viidestä kehon segmentistä eli molemmista ylä- ja alaraajoista ja keskivartalosta. Lisäksi laite rekisteröi 15 reaktanssi-mittausta kolmella taajuudella (5, 50 ja 250 kHz) kaikista viidestä kehon segmentistä. Mittauksen aikana käytetty virta on 90 μ A 1 kHz taajuudella ja 400 μ A

muilla taajuuksilla. Lookin'body-analysointiohjelma analysoi kehon solunulkoisen ja sisäisen nestetilavuuden määrän, proteiinin, luu- ja luuttoman kudoksen mineraalien massan, lihas-, rasva- ja rasvattoman massan, pehmytkudoksen massan ja kehon rasvaprosentin ja massan. Lisäksi laite mittaa rasvattoman pehmytkudoksen määrän ja turvotuksen segmentteittäin. Laite myös arvioi lantio-lonkka suhteen ja BMI:n. (Biospace Co. 2010.) Naisilta selvitettiin myös kuukautiskierron vaihe ennen tutkimuksen alkua kyselemällä, koska tuloksista ei tule luotettavia kuukautisten aikana (Fogelholm 2004, s.50).

Ihopoimumittauksessa käytettiin neljän pisteen menetelmää eli ihopoimujen mittauskohdat olivat triceps (olkavarren ojentajalihas), biceps (hauslihas), lavanalus- ja suprailiakaali-ihopoimu. Mittauskohdat määritettiin mittaamalla ja piirtämällä pieni merkki iholle. Jokaisen ihopoimun paksuus mitattiin ensin kerran ja sen jälkeen mittaus toistettiin samoista kohdista vielä kahdesti uudelleen. Jokaisesta mittauskohdasta laskettiin kolmen mittauksen keskiarvo. Kaikkien neljän ihopoimun paksuuden keskiarvot laskettiin yhteen ja niiden summa sijoitettiin Durnin ja Womersleyn (1974) muuntotaulukkoon. Rasvaprosentti laskettiin iän ja sukupuolen huomioivan muuntotaulukon perusteella, miehille urheilijoiden ja naisille normaalin taulukon mukaisesti. (Fogelholm 2004, s. 48, 264 - 265.)

6.5 Tilastollinen analyysi

Tutkimustulokset analysoitiin Excel-tilastokolaskentaohjelman ja SPSS 16.0 -tilasto-ohjelman avulla. Aineiston normaalijakautuneisuus testattiin Kolmogorov-Smirnovin testillä, jonka perusteella valittiin ei-parametriset testit kun tarkasteltiin kaikkia koehenkilöitä. Tilastollisista analyyseistä tehtiin ja laskettiin korrelaatiokertoimet Spearmanin ei-parametrisella testillä eri menetelmien välille. Menetelmien välistä yhtenevyyttä kuvattiin Bland-Altmanin hajontakuvioilla. DXA:aa pidettiin standardimenetelmänä, johon ihopoimumittausta ja biosähköistä impedanssia verrattiin.

Naisten ja miesten tuloksia tarkasteltiin ryhmittäin ja niiden normaalijakautuneisuus testattiin Kolmogorov-Smirnovin testillä, jonka perusteella valittiin parametriset testit naisille ja

ei-parametriset testit miehille massan, painoindeksin ja rasvaprosenttien vertailuun. Riippuvien ryhmien parittainen t-testi tehtiin ennen ja jälkeen tuloksille massan, painoindeksin ja rasvaprosenttien osalta naisille. Miesten ja kaikkien koehenkilöiden tuloksia tarkasteltiin Wilcoxonin testillä. Tulokset olivat merkitseviä kun $p < 0,05$.

7 TULOKSET

Taulukossa 1. on esitetty koehenkilöiden lukumäärän, pituuden, iän, painon ja paino-indeksin (BMI) mittausten keskiarvot ja keskihajonnat. Koehenkilöiden, $n = 31$, keskimääräinen ikä oli 25 ± 6 vuotta ja pituus $1,72 \pm 0,1$ m. Painosta ja BMI:sta on esitetty ennen (pre) koejaksoa ja koejakson jälkeen (post) olevat tulokset. Koehenkilöiden kehon paino oli keskimäärin $70,7 \pm 7,3$ kg alussa ja se laski merkitsevästi ollen $68,7 \pm 8,2$ kg kuukauden jakson jälkeen. Naisten paino putosi merkitsevästi ($p < 0,001$) kuukauden koejakson aikana, keskimäärin $3,8 \pm 1,4$ kg eli 6,0 %, ja suurin yksittäinen painonpudotus oli 6,4 kg ja pienin 0,8 kg. Miesten keskimääräinen kehon paino pysyi lähes samana eli paino aleni $0,1 \pm 0,9$ kg (0,1 %) koejaksolla. Suurin yksittäinen painon aleneminen oli 1,9 kg ja suurin yksittäinen painonnousu oli 1,1 kg miehillä. Vastaavasti painoindeksi laski naisilla tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,001$) $1,3 \pm 0,5$ yksikköä (6,0 %) kun taas miehillä pysyi vakiona eli $0,0 \pm 0,3$ yksikköä.

TAULUKKO 1. Koehenkilöiden antropometriset tiedot.

	N	pituus	ikä	massa pre	massa post	BMI pre	BMI post
		m	v	kg	kg		
naiset	16	$1,67 \pm 0,1$	28 ± 6	$67,0 \pm 4,8$	$63,2 \pm 4,1$	$23,9 \pm 1,7$	$22,5 \pm 1,6$
miehet	15	$1,79 \pm 0,1$	22 ± 4	$74,7 \pm 7,6$	$74,6 \pm 7,4$	$23,4 \pm 1,9$	$23,3 \pm 1,8$
kaikki	31	$1,72 \pm 0,1$	25 ± 6	$70,7 \pm 7,3$	$68,7 \pm 8,2$	$23,6 \pm 1,8$	$22,9 \pm 1,7$

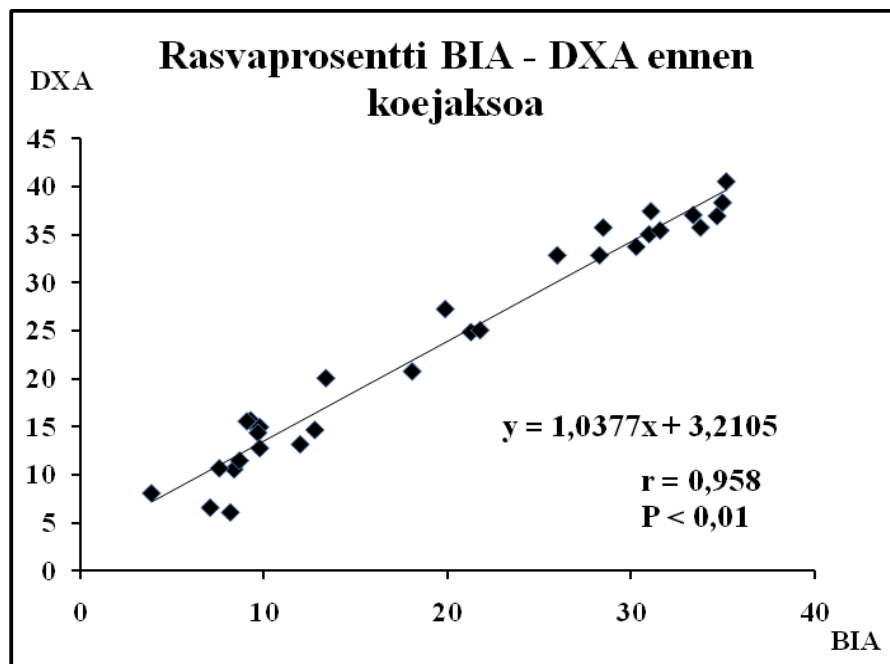
Taulukossa 2 on esitetty rasvaprosenttien keskiarvot naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä ennen ja jälkeen koejakson, rasvaprosentin muutos ja muutosprosentti. Naisten rasvaprosenttien keskiarvot olivat $33,2 \pm 5,6$ %, $28,8 \pm 5,7$ % ja $30,4 \pm 2,5$ %, DXApre, BIApre ja SFpre vastaavasti, ja ne olivat tilastollisesti merkitsevästi alhaisempia $29,8 \pm 6,5$, $25,7 \pm 5,9$, ja $28,3 \pm 3,2$, DXApost, BIApost ja SFpost kuukauden painonpudotusjakson jälkeen. Miesten rasvaprosentit olivat vastaavasti $12,7 \pm 3,8$, $9,3 \pm 2,3$ ja $13,3 \pm 1,8$, DXApre, BIApre ja SFpre, eikä rasvaprosenteissa tapahtunut merkitsevää muutosta. Kaikkien koehenkilöiden rasvaprosenttien keskiarvot olivat $23,3 \pm 11,4$, $19,3 \pm 10,8$, $22,1 \pm 9,0$ DXApre, BIApre ja SFpre ja kuukauden koejaksolla tapahtui keskimäärin pientä muutosta.

TAULUKKO 2. Rasvaprosentit koehenkilöryhmittäin, ennen (pre) ja koejakson jälkeen (post), rasvaprosentin muutos ja muutosprosentti.

		pre	post	muutos	muutos %
naiset	DXA	33,2 ± 5,6	29,8 ± 6,5	-3,3 ± 1,9	-12,9 ± 10,4
n= 16	BIA	28,8 ± 5,7	25,7 ± 5,9	-3,1 ± 1,9	-13,2 ± 8,7
	SF	30,4 ± 2,5	28,3 ± 3,2	-2,1 ± 2,3	-8,0 ± 8,9
miehet	DXA	12,7 ± 3,8	12,7 ± 3,5	0,0 ± 1,0	0,9 ± 8,0
n= 15	BIA	9,3 ± 2,3	8,7 ± 1,9	-0,6 ± 1,2	-6,3 ± 15,8
	SF	13,3 ± 1,8	13,1 ± 2,2	-0,2 ± 1,4	-2,7 ± 14,6
kaikki	DXA	23,3 ± 11,4	21,6 ± 10,1	-1,7 ± 2,3	-6,2 ± 11,6
n = 31	BIA	19,3 ± 10,8	17,5 ± 9,7	-1,9 ± 2,0	-9,8 ± 12,9
	SF	22,1 ± 9,0	21,0 ± 8,2	-1,2 ± 2,1	-5,4 ± 12,0

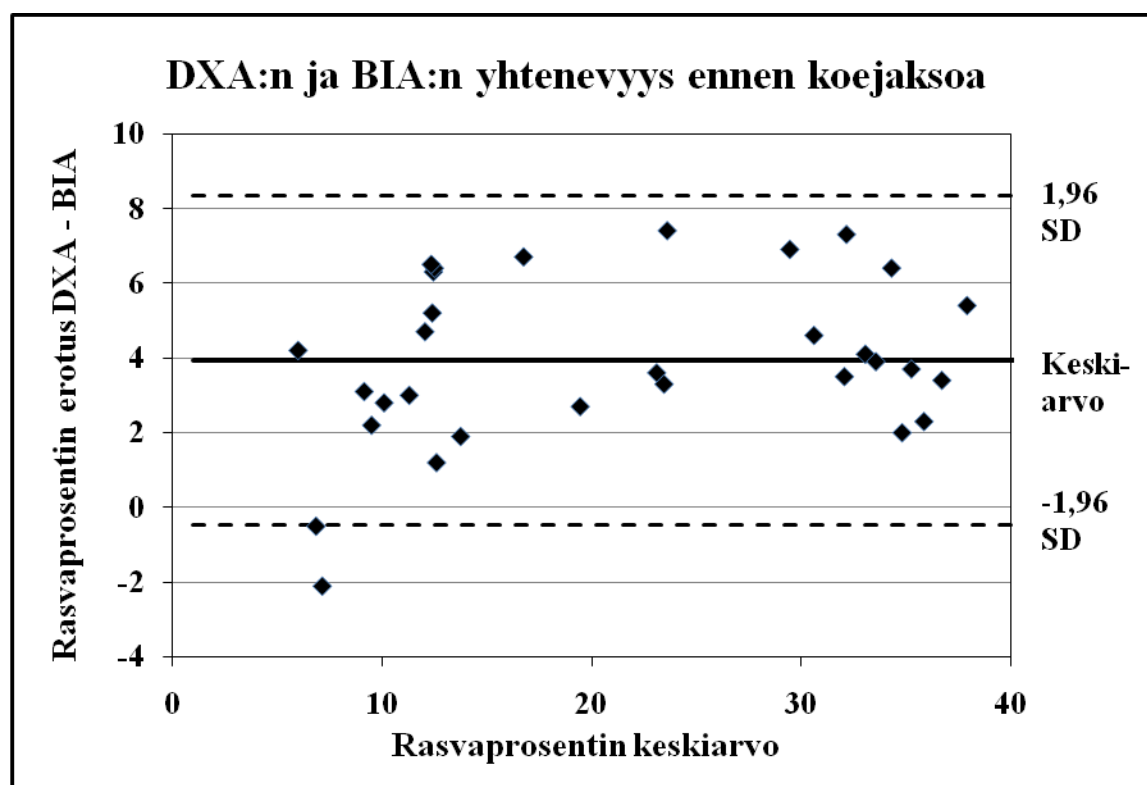
7.1. Tulokset ennen koejaksoa

Kuvassa 6 on esitetty biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja kaksiennergisen röntgensäteen absorptiometrialla (DXA) arvioitujen rasvaprosenttien korrelaatiokuvaaja ennen koejaksoa. BIA:lla mitattu rasvaprosentti korreloi merkitsevästi, $r = 0,958$ ($r^2 = 91,8$), DXA:lla mitatun rasvaprosentin kanssa, kun $p < 0,01$.



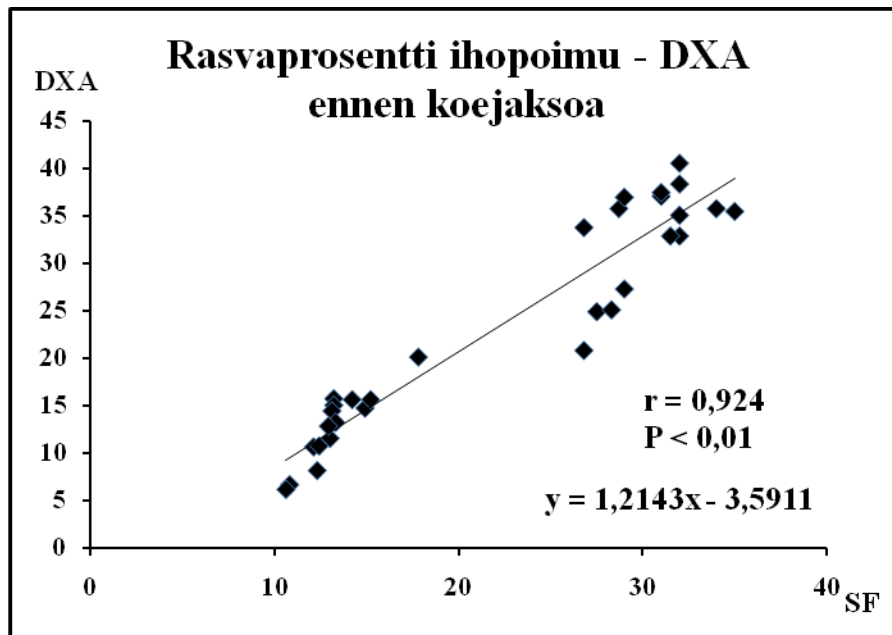
KUVA 6. DXA:lla ja biosähköisellä impedanssilla arvioitujen rasvaprosenttien korrelaatiokuvaaja.

Kuvassa 7 on esitetty DXA:lla ja biosähköisellä impedanssilla arvioitujen rasvaprosenttien yhtenevyys Bland-Altmanin kuvion avulla. Vaaka-akselilla on esitetty jokaisen koehenkilön DXA:lla ja BIA:lla mitattujen rasvaprosenttien keskiarvo ja pystyakselilla vastaavasti jokaisen koehenkilön rasvaprosenttien erotus DXA - BIA. Kuviossa on merkittynä tumma yhtenäinen viiva kuvaamaan rasvaprosenttien erotusten keskiarvoa, joka oli 3,9. Korkea positiivinen erotusten keskiarvo selittää biosähköisen impedanssin aliarvioivan rasvaprosenttia DXA:n nähden. Katkoviivoin on merkitty 95 % luottamusväli 1,96-kertaisen keskihajonnan päähän keskiarvosta molempiin suuntiin. Menetelmät ovat yhteneviä, koska > 95 % havaintopisteistä on luottamusvälien sisäpuolella. Menetelmät erottelevat rasvaprosentit koehenkilöittäin vastaavasti.



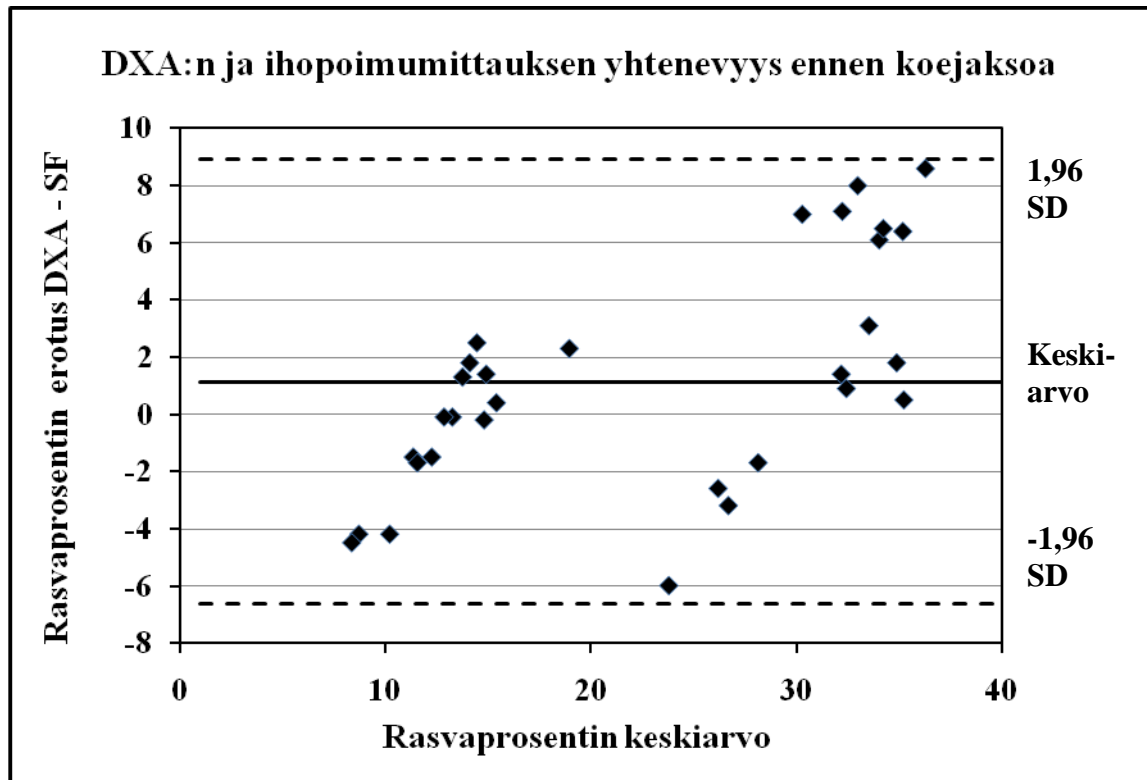
Kuva 7. DXA:lla ja BIA:lla arvioitujen rasvaprosenttien yhtenevyys ennen koejaksoa rasvaprosenttin keskiarvon ja rasvaprosenttien erotusten (DXA - BIA) suhteen Bland-Altmanin hajontakuvion avulla esitettyinä.

Vastaavasti kuvassa 8 on ihopoimujen paksuusmittauksella arvioidun rasvaprosentin korrelaatiokuvaaja DXA:lla arvioituun rasvaprosenttiin. Myös ihopoimujen paksuusmittauksen tulos korreloi merkitsevästi, $r = 0,924$ ($r^2 = 85,4$), DXA:n tulosten kanssa, kun $p < 0,01$.



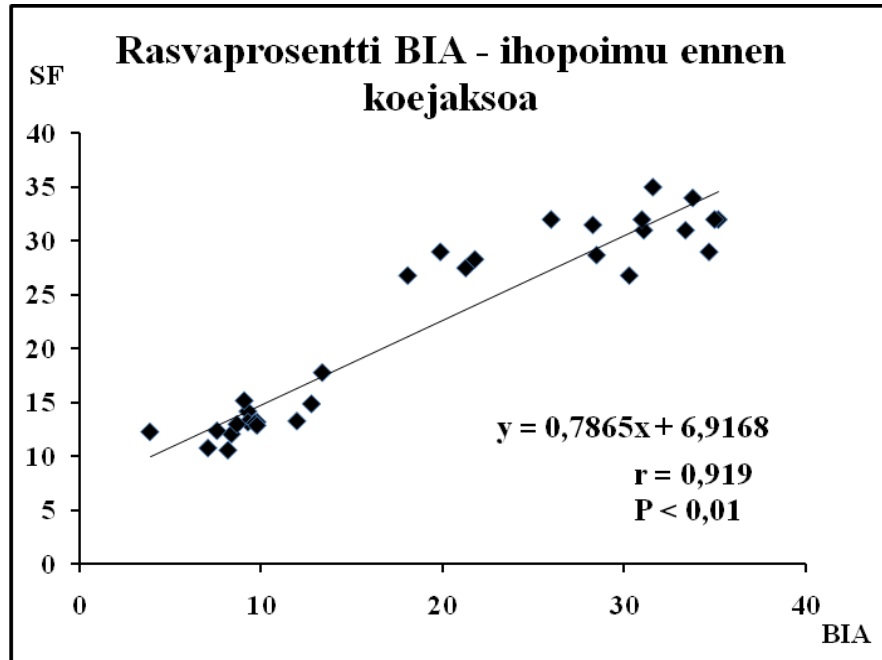
KUVA 8. DXA:lla ja ihopoimujen paksuudella arvioidun rasvaprosentin korrelaatiokuvaaja.

Kuvassa 9 on havainnollistettu DXA:lla ja ihopoimumittauksella arvioitujen rasvaprosenttien yhtenevyys Bland-Altmanin kuvion avulla. Vaaka-akselilla ovat jokaisen koehenkilön DXA:lla ja ihopoimumittauksella arvioitujen rasvaprosenttien keskiarvot ja pystyakselilla vastaavasti jokaisen koehenkilön rasvaprosentin erotus DXA - SF. Kuviossa on merkitty rasvaprosenttien erotusten keskiarvo 1,1 yhtenäisenä vaakaviivana. Katkoviivoin on merkitty 95 % luottamusvälit 1,96-kertaisen keskihajonnan päähän keskiarvosta molempiin suuntiin. Kaikki havaintopisteet ovat luottamusvälien sisäpuolella, joten menetelmät ovat yhteneviä.

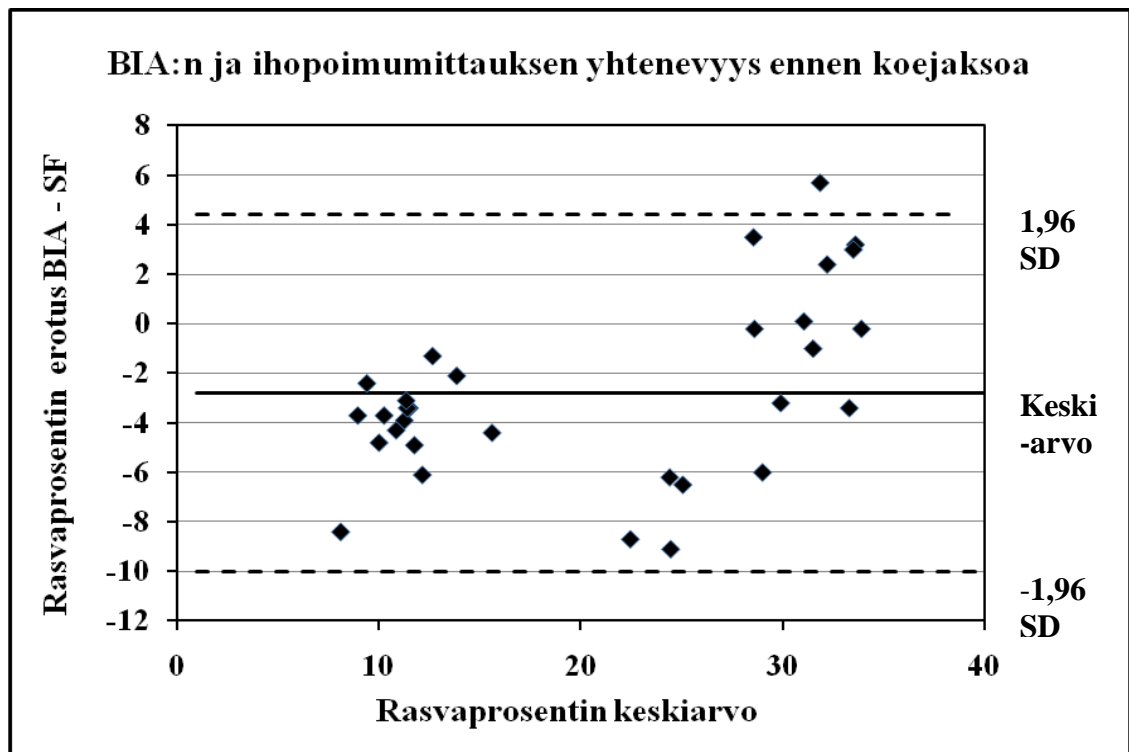


Kuva 9. DXA:lla ja ihopoimuumittauksella arvioitujen rasvaprocenttien yhtenevyys ennen koejaksoa rasvaprocentin keskiarvon ja rasvaprocenttien erotusten (DXA - SF) suhteen Bland-Altmanin hajontakuviolla esitettynä.

Kuvassa 10 on esitetty biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimuumittauksella (SF) arvioitujen rasvaprocenttien korrelaatiokuvaaja ennen koejaksoa. Ihopoimujen paksuusmittauksella arvioitu rasvaprocentti korreloi merkitsevästi, $r = 0,919$ ($r^2 = 84,5$), BIA:lla mitatun rasvaprocentin kanssa, kun $p < 0,01$. Kuvassa 11 on havainnollistettu ihopoimuumittauksen ja biosähköisen impedanssin yhtenevyyttä Bland-Altmanin kuviolla. Rasvaprocenttien erotusten keskiarvo (BIA pre - SF pre) oli negatiivinen, -2,8, (tumma yhtenäinen viiva), joten biosähköinen impedanssi aliarvioi rasvaprocentin suuruutta ihopoimuumittaukseen nähden. Kuvassa näkyvät katkoviivat ovat 95 % - luottamusvälit 1,96-kertaisen keskihajonnan päässä keskiarvosta molempiin suuntiin. Lähes kaikki havaintopisteet (> 95 %) ovat luottamusvälien sisäpuolella, joten menetelmät ovat yhteneviä.



KUVA 10. Biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimujen paksuudella arviooidun rasvaprocentin korrelaatiokuvaaja.



Kuva 11. BIA:lla ja ihopoimumittauksella arvioitujen rasvaprocenttien yhtenevyys ennen koejaksoa rasvaprocentin keskiarvon ja rasvaprocenttien erotusten (BIA - SF) suhteen Bland-Altmanin hajontakuviolla esitettynä.

Ihopoimumittauksessa oli eri mittaajat naisilla ja miehillä. Sen vuoksi ihopoimumittauksen tuloksia tarkasteltiin myös erikseen naisten ja miesten osalta. Ihopoimujen paksuusmittauksen ja DXA:n välillä naisten tuloksissa oli suurempi hajonta Bland-Altmanin kuvion mukaan kuin miesten tuloksissa sekä ennen että jälkeen koejakson. Miesten tuloksissa oli myös selkeästi vahvempi korrelaatio, $r = 0,914$ ennen ja $r = 0,801$, $p < 0,01$ jälkeen, kuin naisten, $r = 0,514$ ja $r = 0,437$, kun $p < 0,05$, vastaavissa tuloksissa ihopoimumittauksen ja DXA:n välillä. Samansuuntaiset tulokset oli nähtävissä myös ihopoimumittausten ja BIA:n välillä, sillä yhtenevyys oli parempi miehillä kuin naisilla sekä ennen että jälkeen koejakson. Myös korrelaatiokertoimet olivat vahvempia miehillä, $r = 0,763$ ennen ja $r = 0,697$ jälkeen, kuin naisilla $r = 0,605$ ja $r = 0,499$, kun $p < 0,01$ ihopoimumittauksen ja BIA:n välillä ennen ja jälkeen koejakson.

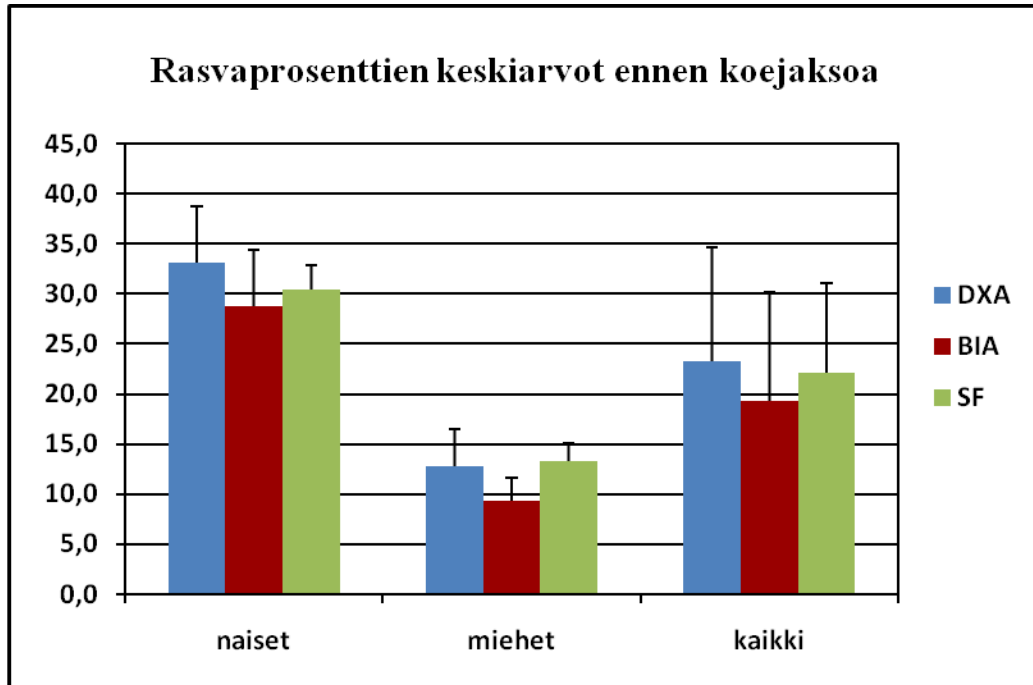
7.2. Tulokset koejakson jälkeen

Biosähköisellä impedanssilla ja DXA:lla koejakson jälkeen arvioidut rasvaprosentit olivat yhteneviä Bland-Altmanin testin mukaan, kuten myös rasvaprosentin muutosprosenttien avulla tarkasteltuna. Bland-Altmanin kuviossa BIA post:n ja DXA post:n havaintopisteistä 95 % mahtui luottamusvälien sisäpuolelle, vaikka havaintopisteet hajosivat aika paljon. BIA post ja DXA post korreloivat vahvasti, $r = 0,947$, kun $p < 0,01$. Ihopoimumittauksella ja DXA:lla arvioidut rasvaprosentit ja muutosprosentit olivat lähes yhteneviä koejakson jälkeen. Ihopoimumittaus ja DXA arvioivat muutaman koehenkilön rasvaprosentissa tapahtuneen muutoksen erisuuruiseksi kuukauden koejakson aikana. Muutama havaintoarvo meni 95 % luottamusvälien ulkopuolelle, mutta muuten ihopoimumittauksen ja DXA:n tulokset koejakson jälkeen olivat hyvin yhteneviä. Ihopoimumittauksella ja DXA:lla arvioidut rasvaprosentit koejakson jälkeen korreloivat hyvin, $r = 0,895$, kun $p < 0,01$. Ihopoimumittauksella ja biosähköisellä impedanssilla arvioidut rasvaprosentit korreloivat vahvasti koejakson jälkeen, $r = 0,897$, kun $p < 0,01$. Ihopoimumittauksella ja biosähköisellä impedanssilla arvioidut rasvaprosentit olivat lähes yhteneviä Bland-Altmanin testin perusteella koejakson jälkeen.

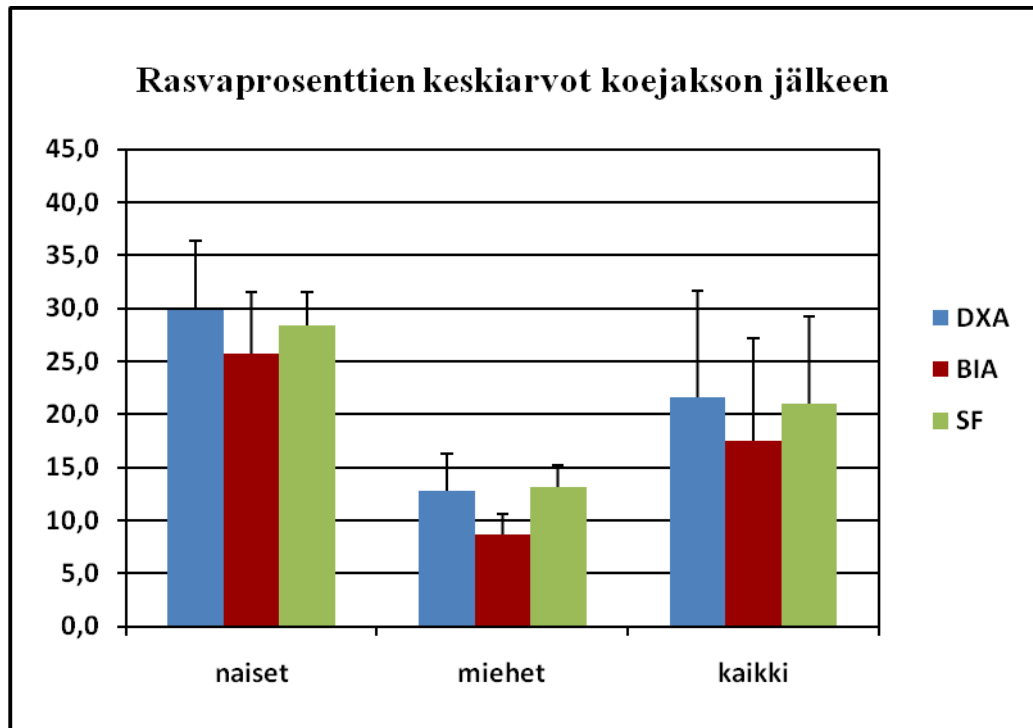
Kaikilla kolmella menetelmällä arvioidut rasvaprosentit ennen ja jälkeen koejaksoa olivat yhteneviä eli DXA pre - DXA post, BIA pre - BIA post ja SF pre - SF post Bland-Altmanin testin perusteella. Ennen ja jälkeen koejaksoa menetelmittäin verratut rasvaprosentit korreloivat vahvasti: DXA pre - DXA post $r = 0,960$, BIA pre - BIA post $r = 0,965$ ja SF pre - SF post $r = 0,934$, kun $p < 0,01$.

7.3 Tulokset koehenkilöryhmittäin

Kuvassa 12 on esitetty rasvaprosenttien keskiarvot eri menetelmillä mitattuna ennen koejaksoa naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä. Vastaavasti kuvassa 13 on rasvaprosenttien keskiarvot koejakson jälkeen. Biosähköisellä impedanssilla arvioidut rasvaprosentit olivat merkitsevästi alhaisempia kuin DXA:lla kaikissa ryhmissä ennen ja jälkeen koejakson (kaikilla koehenkilöillä ja naisilla $p < 0,001$, miehillä $p < 0,005$). Ihopoimuumittauksella arvioitu rasvaprosentti ennen koejaksoa oli tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi DXA:n verrattuna naisilla ennen koejaksoa ($p < 0,05$). Koejakson jälkeen ei havaittu merkitsevää eroa ihopoimuumittauksen ja DXA:n välillä naisilla. Miehillä ja kaikilla koehenkilöillä ihopoimuumittauksella saadut tulokset eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) DXA:n vastaavista tuloksista ennen eikä jälkeen koejakson.

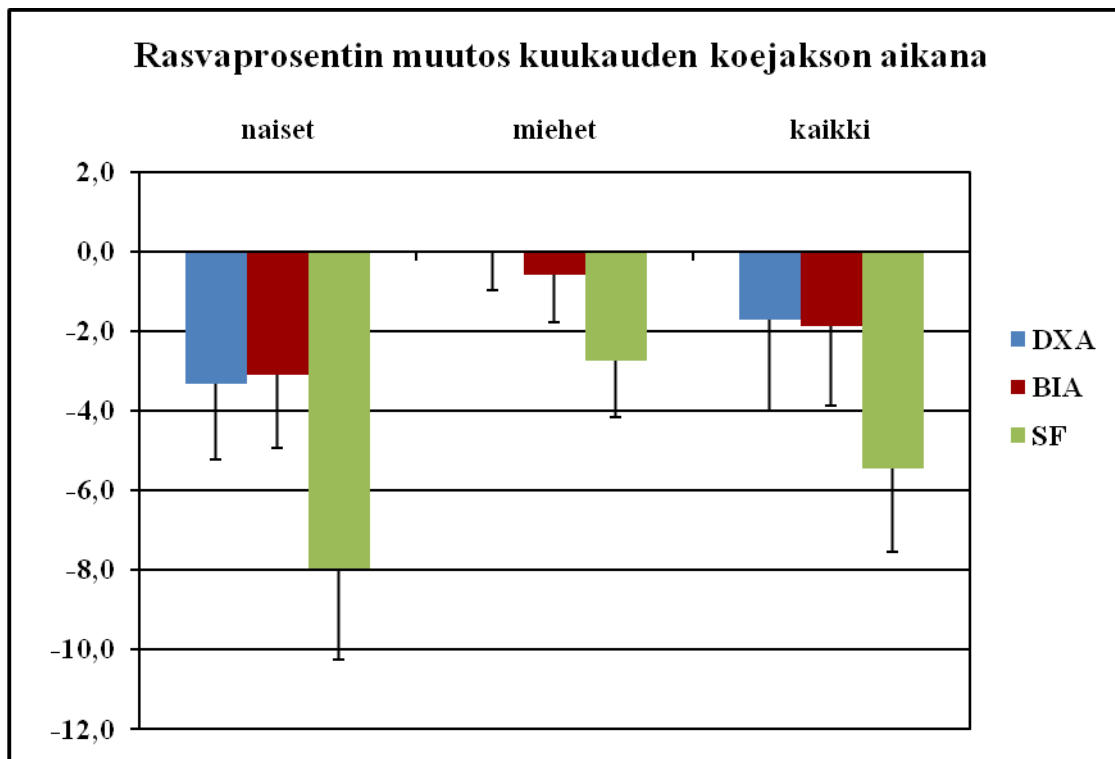


KUVA 12. DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimuumittauksella (SF) mitattujen rasvaprocenttien keskiarvot naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä ennen koejaksoa.



KUVA 13. DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimuumittauksella (SF) mitattujen rasvaprocenttien keskiarvot naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä koejakson jälkeen.

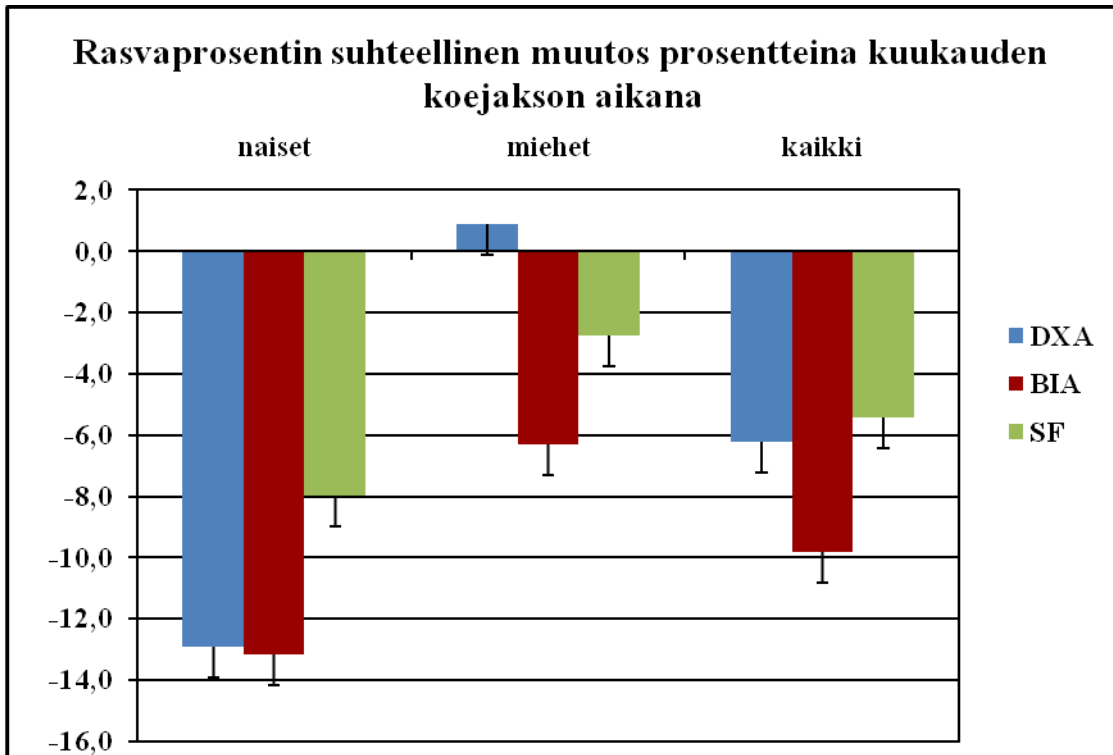
Kuvassa 14 on esitetty rasvaprosenttien absoluuttiset muutokset prosenttiyksiköinä kuukauden koejakson aikana naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimiumittauksella mitattuna. Rasvaprosentti aleni naisilla 3,3 prosenttiyksikköä DXA:lla mitattuna ja lähes saman verran (3,1 %) BIA:lla ja 8,0 prosenttiyksikköä ihopoimiumittauksella. Miesten rasvaprosentti ei muuttunut DXA:lla (0,0, %) mitattuna ja se aleni vain hieman BIA:lla (0,6 %) ja ihopoimiumittauksella (2,7 %) mitattuna. BIA mittasi rasvaprosentin muutoksen lähes samansuuruisena kaikilla koehenkilöryhmillä DXA:n tuloksiin verrattuna. Absoluuttiset muutokset rasvaprosentissa olivat hieman suurempia ihopoimujen paksuusmittauksella arvioituna kuin DXA:lla, mutta tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.



KUVA 14. DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimiumittauksella (SF) mitattujen rasvaprosenttien keskiarvojen muutos prosentteina naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä koejakson aikana.

Kuvassa 15 näkyy rasvaprosentin suhteellinen muutos prosentteina kuukauden koejakson aikana eri koehenkilöryhmillä DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimiumittauksella mitattuna. Rasvaprosentin suhteellinen muutos prosentteina ei eronnut tilastollisesti

merkitsevästi eri menetelmillä arvioituna naisilla, miehillä eikä kaikilla koehenkilöillä. Biosähköinen impedanssi mittasi rasvaprosentin muutoksen suurimmaksi kaikissa koehenkilöryhmissä, mutta ei siis tilastollisesti merkitsevästi. Biosähköinen impedanssi ja DXA arvioivat rasvaprosentin muutoksen lähes samansuuruiseksi naisilla, sen sijaan ihopoimujen paksuusmittauksella saatu tulos oli muutaman prosenttiyksikön alhaisempi BIA:lla. Miesten tuloksissa DXA arvioi rasvaprosentin muutoksen suurentuneen kuukauden koejaksoilla, mutta ihopoimujen paksuusmittaus ja BIA arvioivat rasvaprosentin muutoksen pienentyneen. Kaikilla koehenkilöillä ihopoimumittauksen tulos oli lähellä DXA:n tulosta, mutta BIA arvioi rasvaprosentin muutoksen olleen prosentuaalisesti suurempi.



KUVA 15. DXA:lla, biosähköisellä impedanssilla (BIA) ja ihopoimumittauksella (SF) mitattujen rasvaprosenttien keskiarvojen muutos prosentteina naisilla, miehillä ja kaikilla koehenkilöillä koejakson aikana.

8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää eroavatko kaksiennergisen röntgensäteilyn absorptiometrialla, biosähköisellä impedanssilla ja ihopoimumittauksella arvioidut kehon rasvaprosentit toisistaan. Menetelmien väliset korrelaatiot olivat vahvoja ennen koejakson alkua ja BIA selitti DXA:a 92 %, ihopoimumittaus selitti sekä DXA:a että BIA:a noin 85 %. Menetelmien välistä yhtenevyyttä testattiin Bland-Altmanin kuvion avulla ja sen perusteella kaikki menetelmät olivat keskenään yhteneviä. Tulokset olivat samassa linjassa aiempien tutkimustulosten kanssa mm. (Bowden ym. 2005).

Tässä tutkimuksessa ihopoimumittausta ja biosähköistä impedanssia verrattiin ensisijaisesti DXA:an, koska DXA:a voidaan pitää ns. kultaisena standardimenetelmänä. DXA:n tarkkuus, luotettavuus ja toistettavuus rasvaprosentin määrittämisessä on todistettu useissa tutkimuksissa (Mazess ym. 1990; Prior ym. 1997). Jebb ym. (2007) määrittivät rasvamassan määrän lähes samaksi DXA:lla ($38,0 \pm 5,9$ kg) mitattuna kuin 4-C ($37,8 \pm 6,0$ kg) ja 3-C-malleilla ($37,1 \pm 6,2$ kg) 58 ylipainoiselta naiselta. Toisaalta Evans et al. (1999) havaitsivat DXA:n yliarvioivan rasvaprosentin ja rasvaprosentin muutoksen nelikomponenttimalliin nähden ja Glickman ym. (2004) tutkimuksessa havaittiin DXA:n aliarvioivan rasvan määrää CT-kuviin verrattuna. DXA:lla mitattu keskivartalon (L1 - L4 välinen alue) rasvan ja pehmytkudoksen massan määrä oli alhaisempi kuin CT:lla. Lisäksi kun vatsan päälle lisättiin rasvapaketteja, arvioi DXA rasvan lisäyksen olleen vain 78 % todellisesta lisäyksestä. Tämä oli kuitenkin parempi tulos kuin aiemmissa tutkimuksissa. (Glickman ym. 2004.) DXA on kallis ja vaikeasti saatavilla oleva menetelmä, joten sen käyttö laajemmalti rasvaprosentin määrittämisessä on hankalaa. Ihopoimumittaus ja biosähköinen impedanssi ovat halvempia ja helpommin saatavilla olevia ja helpommin käytettäviä menetelmiä, joten niiden käyttäminen rasvaprosentin arvioimisessa olisi käytännöllistä. DXA:n mahdolliset puutteet huomioiden tehtiin tässä tutkimuksessa tilastollinen vertailu myös BIA:n ja ihopoimumittauksen välillä.

Biosähköisellä impedanssilla arvioidut rasvaprosentit ennen koejaksoa korreloivat tilastollisesti merkitsevästi DXA:n tulosten kanssa ja bioimpedanssilla saadut tulokset selittävät 91,8 % DXA:n tuloksista. Kuukauden koejakson jälkeen mitatuissa rasvaprosenteissa oli vastaavat tulokset kuin ennen koejaksoa eli menetelmät korreloivat vahvasti ja BIApost selitti DXApost:a 89 %. Menetelmien välistä yhtenevyyttä testattiin Bland-Altmanin testin avulla ja sen perusteella BIA ja DXA ovat yhteneviä menetelmiä. Tuloksista tosin havaittiin, että BIA aliarvioi rasvaprosentin suuruuden DXA:an nähden. Rasvaprosenttien keskiarvot olivat tilastollisesti merkitsevästi alhaisempia BIA:lla kuin DXA:lla kaikilla koehenkilöillä, naisilla ja miehillä. Tulokset viittaavat systemaattiseen virheeseen biosähköisen impedanssin mittaumenetelmässä. Menetelmä kuitenkin erottelee koehenkilöt vastaavasti kuten DXA:kin.

Ihopoimumittauksella ja biosähköisellä impedanssilla mitattuja rasvaprosentteja verrattiin myös toisiinsa ja nekin korreloivat vahvasti ($r = 0,919$, kun $p < 0,01$) ja olivat yhteneviä Bland-Altmanin kuvion mukaan. BIA:n tulokset olivat kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi alhaisempia kuin ihopoimumittauksella, joten BIA aliarvioi rasvaprosenttia sekä ihopoimumittaukseen että DXA:an nähden. Vastaavanlaisia tuloksia olivat saaneet myös Neovius ym. (2007) tutkiessaan ylipainoisia naisia, jolloin he havaitsivat BIA:n aliarvioineen 5,0 % tuloksia DXA:n nähden. Aliarvioiminen oli korostunut erityisen lihavilla. Tässä tutkimuksessa kaikki koehenkilöt olivat kuitenkin normaalipainoisia. Bowden ym. (2005) saivat erisuuntaisia tuloksia, sillä BIA yliarvioi rasvaprosentin ($38,33 \% \pm 5,8$) DXA:an nähden ($31,28 \% \pm 7,26$) naisilla sekä miehillä (BIA $30,04 \% \pm 8,08$ ja DXA $24,04 \% \pm 6,67$), mutta erot eivät olleet merkitseviä. Bowden ym. (2005) tutkimuksessa käyttämä BIA-laite oli Xitron 4200, jossa kulki 500 mikroampeerin virta 50 kHz taajuudella ja kolme mittauselektrodiä kiinnitettiin oikean ranteen molemmin puolin ja kolmas oikeaan nilkkaan. Tutkijoiden mukaan nestetasapaino oli normaali ja kuten tässäkin tutkimuksessa mittaukset tehtiin aamulla yöpaaston jälkeen (Bowden ym. 2005). Neovius ym. (2007) tutkimuksessa käytettiin kahdeksan elektrodin menetelmää, jossa koehenkilö seisoi mittalaitteessa samoin kuin tässäkin tutkimuksessa. Erona molemmissa Neovius ym (2007) ja Bowden ym. (2005) tutkimuksissa tähän tutkimukseen verrattuna oli mitata yksitaajuisella biosähköisellä impedanssilla toisin kuin tämän tutkimuksen monitaajuisen BIA:n käyttäminen. Monitaa-

juisen BIA:n etuna on solunulkoisen nesteen, koko kehon nestetilavuuden ja rasvattoman massan määrittäminen verrattuna yksitaajuiseen BIA:an, joka ei pysty erittelemään solunulkoista ja sisäistä nestetilavuutta eikä rasvatonta massaa. Näin ollen monitaajuisella BIA:lla saadaan määritettyä kehon koostumus tarkemmin yksitaajuiseen BIA:an nähden. (Kyle ym. 2004.)

Biosähköisen impedanssin mittaustuloksiin saattavat vaikuttaa useat tekniset ja ympäristöön ja olosuhteisiin liittyvät seikat. Kehon nesteiden virtaus tulisi olla mahdollisimman vakioitua eli koehenkilön tulisi olla mittausasennossa rauhasa paikallaan jo ennen mittausta 5 - 20 minuuttia. Jalkojen ja käsien tulee olla erillään, koska niiden asennot vaikuttavat sähkökenttään ja virran kulkemiseen. Kun mittaus tehdään seisaallaan, tulee koehenkilön olla paikallaan seisaalleen jo ennen mittausta. Jalat ja kädet asetetaan erilleen, kun ne asetellaan oikein elektrodien kohdalle. Elektrodien sijaintipaikat jalkojen ja käsien distaalisisissa osissa on tutkittu jo varhain BIA:n kehittämisvaiheissa. Koehenkilön koko kehon nestetasapainolla on suuri merkitys mittaustuloksiin. Kuumassa tai kylmässä ilmassa oleminen, hikoilu, liikunta syöminen ja juominen vaikuttavat kehon nestetasapainoon. Sen vuoksi mittaustilanteessa tulisi vakioida nämä tekijät. (Lukaski 1996; Kushner ym. 1996.) Tässä tutkimuksessa biosähköisen impedanssin mittaukset suoritettiin aamulla yöpaaston jälkeen ja koehenkilöitä kehoitettiin tyhjentämään virtsarakko, jos oli tarvetta. Koehenkilöitä oli myös ohjeistettu olemaan harrastamatta raskasta liikuntaa edellisenä päivänä. Mittaustilanne ja olosuhteet olivat vakioitu hyvin, joten niistä johtuvia merkittäviä mittauserheitä ei pitäisi olla.

Ihopoimiumittauksella ja DXA:lla mitatuille rasvaprosenteille saatiin vahva korrelaatio, jolloin ihopoimujen paksuusmittauksen tulokset selittävät DXA:n tuloksia 85,4 %. Bland-Altmanin testin perusteella ihopoimiumittaus ja DXA ovat yhteneviä menetelmiä. Tutkimuksessa käytettiin neljän ihopoimun paksuutta ja niiden summa sijoitettiin Durnin ja Womersleyn (1974) muuntotaulukkoon, joka on hyvin yleisesti käytössä ympäri maailman.

Rasvaprosentin keskiarvot eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi ennen ja koejakson jälkeen miehillä ja kaikilla koehenkilöillä. Naisilla ennen koejaksoa mitatuissa ihopoimujen

paksuudesta arvioituissa rasvaprosenteissa oli tilastollisesti merkitsevästi eroa DXA:lla mitattuihin rasvaprosentteihin, mutta ei enää koejakson jälkeen. Naisten ja miesten ihopoimujen paksuutta mittasi tutkimuksessa eri mittaja. Mittajalla on suuri merkitys ihopoimujen paksuusmittauksissa tuloksiin ja se oli selkeästi havaittavissa tässä tutkimuksessa. Bland-Altmanin kuviosta havaittiin sekä DXA:an että BIA:an verrattuna naisten rasvaprosenteissa olevan suuremman hajonnan kuin miesten vastaavissa tuloksissa sekä ennen että jälkeen koejakson. Miesten ihopoimujen paksuustulokset korreloivat DXA:n kanssa vahvemmin kuin naisten ennen koejaksoa. Sama oli havaittavissa myös vertailtaessa koejakson jälkeen olevia tuloksia ja naisten ja miesten tuloksia ihopoimujen paksuusmittauksen ja BIA:n välillä. Naisten tutkimuksessa ihopoimujen paksuuden mittajalla ei ollut kovin paljon kokemusta mittaamisesta ja tuloksistakin tuli epätarkempia kuin miesten tutkimuksessa. Ihopoimujen paksuusmittauksessa olisi tärkeää olla hyvä ja kokenut mittaja. Lisäksi mittajan tulisi olla aina sama samoilla koehenkilöillä, mutta myös kun eri koehenkilöryhmien aineistoja käsitellään yhdessä.

Tämän tutkimuksen yksi päätarkoituksista oli selvittää miten eri menetelmät havaitsevat muutokset kehon koostumuksessa ja ovatko muutokset yhtä suuria. Kun tarkastellaan muutoksia kehon koostumuksessa, aina ei ole tärkeää mitkä ovat absoluuttiset mittaustulokset, vaan paljonko tulokset muuttuvat tietyn ajan suhteen. Vaikka menetelmien välillä olisi eroja absoluuttisissa rasvaprosenttien mittaustuloksissa, saattavat menetelmät silti mitata muutoksen yhtenevästi. Jos menetelmien väliset erot rasvaprosenteissa johtuvat systemaattisista mittausteknisistä syistä, saattavat menetelmät mitata rasvaprosentin suhteellisen muutoksen luotettavasti jonkin tietyn ajan suhteen. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa biosähköinen impedanssi aliarvioi absoluuttisia tuloksia DXA:n ja ihopoimujen paksuusmittaukseen nähden sekä ennen että jälkeen kuukauden koejakson. Sen sijaan biosähköinen impedanssi mittasi rasvaprosentin muutoksen suuruuden kuukauden koejakson aikana hyvinkin samansuuruisiksi kuin DXA:kin, BIA -1,9 prosenttiyksikköä (-9,8 %), DXA - 1,7 prosenttiyksikköä (- 6,2 %) kaikilla koehenkilöillä. Bland-Altmanin testin mukaan menetelmät olivat myös yhteneviä. Vastaavia tuloksia saivat myös Evans ym. (1999), kun he tutkivat ylipainoisten naisten painonpudotuksen vaikutuksia mm. 4-komponentin mallilla, DXA:lla, BIA:lla ja ihopoimujen paksuusmittauksella. Ryhmien

välillä ei ollut merkitseviä eroja tutkimuksen alussa millään menetelmällä rasvaprosenteissa. DXA, BIA ja ihopoimujen paksuusmittaus mittasivat rasvaprosentin muutoksen yhtä suureksi koejaksolla kuin 4-C-mallikin harjoitteluryhmillä. Kontrolliryhmällä tosin DXA, BIA että SF mittasivat rasvaprosentin muutoksen koejaksolla 4-C-mallia pienemmäksi. (Evans ym. 1999.)

Ongelmana kehon koostumuksen muutosten havaitsemisessa saattaa olla menetelmän erottelukyky havaita pieniä muutoksia. Evans ym. (1999) totesivat pienten kehon koostumuksen muutosten havaitsemisen olevan haasteellista kliinisillä menetelmillä. Tutkijat vertasivat DXA:n, BIA:n ja ihopoimuumittauksen tuloksia 4-komponenttimallin tuloksiin ja totesivat rasvaprosentin muutoksen virhearvioiden olevan samansuuruisia kaikilla menetelmillä. Virhearviot ennustettaessa 4-C-mallin avulla arvioidun rasvaprosentin muutosta olivat DXA:lla (1,9 %), BIA:lla (2,1 %) ja ihopoimuumittauksella (2,0 %) kehon massasta. Huomioimalla, että myös standardimenetelmässä on mittausvirheitä, he laskivat, että todellisen rasvaprosentin muutoksen havaitsemiseen painon pudotuksessa 95 % koehenkilöistä, rasvaprosentin tulisi muuttua vähintään 3,8 %. (Evans ym. 1999.)

Yhteenvetona voidaan todeta DXA:n, biosähköisen impedanssin ja ihopoimujen paksuusmittauksen soveltuvan hyvin kehon koostumuksen arvioimiseen rasvaprosentin avulla. DXA on todettu luotettavaksi menetelmäksi, mutta myös sen käytössä kannattaa muistaa huomioida mahdollisuus pieniin mittausteknisiin virheisiin absoluuttisia tuloksia tarkastellessa. Monitaajuinen biosähköinen impedanssi mittasi rasvaprosentin yhteneväisesti, mutta hieman aliarvioiden DXA:an ja ihopoimuumittaukseen nähden. Rasvaprosentin muutoksen BIA pystyi havaitsemaan yhtä tarkasti kuin DXA:kin. Ihopoimujen paksuusmittaus korreloi myös vahvasti DXA:n kanssa ja on luotettava ja tarkka menetelmä rasvaprosentin mittaukseen sekä absoluuttisena että suhteellisena muutoksena. Ihopoimujen paksuusmittauksessa tulisi kiinnittää erityisesti huomiota mittaajan ammattitaitoon ja käyttää aina samaa mittaajaa.

9 LÄHTEET

- Bellisari, A. & Roche A.F. 2005. Anthropometry and ultrasound. Teoksessa Heymsfield, S.B., Lohman, T.G., Wang, Z. & Going, S.B. Human body composition. Ss. 109 - 127.
- Biospace Co. 2010. Inbody270. Viitattu 19.9.2010.
<http://www.e-inbody.com/products/ib270.html>
- Bowden, R. G., Lanning, B.A., Doyle, E.I., Johnston, H.M., Nassar, E.I., Slonaker, B., Scanes, G. & Rasmussen C. 2005. Comparison of body composition measures to dual-energy X-ray absorptiometry. Journal of exercise physiology online. 8:1:1-9.
- Chumlea, C. & Guo, S.S., Cockram, D.B. & Siervogel, R.M. 1996. Mechanical and physiological modifiers and bioelectrical impedance spectrum determinants of body composition. American journal of clinical nutrition. 64: suppl: 413S - 422S
- Chumlea, C. & Sun, S.S. 2005. Bioelectrical impedance analysis. Teoksessa Heymsfield, S.B., Lohman, T.G., Wang, Z. & Going, S.B. Human body composition. s. 79 - 88.
- Ellis, K.J. 2000. Human body composition: In vivo methods. Physiological reviews 80 (2): 649 - 680.
- Evans, E.M., Saunders, M.J., Spano, M.A., Arngrimsson, S.A., Lewis, R.D & Cureton, K.J. 1999. Body-composition changes with diet and exercise in obese women: a comparison of estimates from clinical methods and a 4-component model. American journal of clinical nutrition. 70 s. 5 - 12.
- Fogelholm, M. 2004. Antropometriset ja kehon koostumusta kuvaavat mittaukset. Teoksessa Keskinen, K.L., Häkkinen, K. & Kallinen, M. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellisen seuran julkaisu nro 156, Helsinki. Tammer-Paino oy, Tampere. Ss.45 - 50 ja 264 - 265.
- GE Healthcare 2010. Lunar prodigy advance direct-digital densitometry. Viitattu 19.9.2010.
<http://www.gehealthcare.com/euen/bone-densitometry/docs/prodigy-advance.pdf>
- Glickman, S.G., Marn, C.S., Supiano, M.A. & Dengel, D.R. 2004. Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. Journal of applied physiology 97: 509 - 514.

- Heymsfield, S.B., Waki, M., Kehayias, J., Lichtman, S., Dilmanian, F. A., Kamen, Y., Wang, Z. & Pierson, R. N.Jr. 1991. Chemical and elemental analysis of humans in vivo using improved body composition models. *American journal of physiology: endocrinology and metabolism*. 261: E190-E198.
- Heymsfield, S.B & Wang, Z. 1997. Human body composition: advances in models and methods. *Annual review of nutrition*. 17: 527 - 58.
- Kushner, R.F., Gudivaka, R. & Schoeller, D.A. 1996. Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *American journal of clinical nutrition*. 64: suppl: 423S - 427S
- Kyle, U.G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A.D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J.M., Heitmann, B.L., Kent-Smith, L., Melchior, J-C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A.M.W.J. & Pichard, C. 2004. Bioelectrical impedance analysis- part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition* 23: 1226 - 1243.
- Lohman, T.G. & Chen Z. 2005. Dual-energy x-ray absorptiometry. Teoksessa Heymsfield, S.B., Lohman, T.G., Wang, Z. & Going, S.B. *Human body composition*. s. 66 - 69.
- Lukaski, H.C. 1996. Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *American journal of clinical nutrition*. 64: suppl: 397S - 404S.
- Mazess, R. B., Barden, H. S., Bisek, J. P. & Hanson, J. 1990. Dual-energy X-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *American journal of clinical nutrition*. 51: 1106- 1112.
- Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z. & Heymsfield, S.B.1996. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *American journal of physiology: endocrinology and metabolism*. 1996; 271:E941 – 51.
- Prior, B.M., Cureton, K.J., Modlesky, C.M., Evans, E.M., Sloniger, M.A., Saunders, M. & Lewis, R.D. 1997. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of applied physiology* 83: 623 - 630.
- Snyder, W.S., Cook, M.J., Nasset, E.S. Karhausen, L.R., Howells, G.P. & Tipton, I.H. 1975. Report of the task group on reference man. IRCP publication 23. Pergamon Press LTD. Headington Hill Hall Oxford. S. 4, 327.

- Van Der Ploeg, G.E., Withers, R.T. & Laforgia J. 2003. Percent body fat via DEXA: comparison with a four-compartment model. *Journal of applied physiology* 94: 499 - 506.
- Wang, Z., Pierson, R.N. Jr. & Heymsfield, S.B. 1992. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *American journal of clinical nutrition* 56: 19 - 28.