



# **Bioelektrische Impedanzmessung als Outcome-Indikator Fachauskunft**

Für den Inhalt verantwortlich:

Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger  
Evidenzbasierte Wirtschaftliche Gesundheitsversorgung (EWG)  
1031 Wien, Kundmangasse 21, [ewg@hvb.sozvers.at](mailto:ewg@hvb.sozvers.at)  
Tel. 01/ 71132-0

# 1 Inhalt

<b>1</b>	<b>Inhalt .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Fragestellung.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Methodik .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Fachauskunft.....</b>	<b>5</b>
4.1	Hintergrund .....	5
4.2	Kyle et al. 2004 (ESPEN Guidelines) .....	6
4.3	Kettaneh et al. 2005 .....	7
4.4	Powell et al. 2001 .....	7
4.5	Nightingale et al. 2010.....	7
4.6	Ergebnisse der Abstract-Aussagen (kein free fulltext) .....	8
4.7	Schlussfolgerung.....	8

## 2 Fragestellung

Ist die BIA aus EBM- Sicht ein probates Mittel als Grundlage und Verlaufskontrolle einer Ernährungsberatung/-therapie?

Ist die BIA aus EBM- Sicht ein besseres/wirksameres Mittel als Grundlage und Verlaufskontrolle einer Ernährungsberatung/-therapie als andere Messverfahren?

### 3 Methodik

Aufgrund der äußerst knappen Zeitbegrenzung (2,5 Werkstage zwischen Fragestellung und Beantwortungsfrist) wurde nur in großen Datenbanken gesucht und frei verfügbare Literatur herangezogen.

Cochrane Db of systematic reviews: 0

CRD database: 1 Ergebnis (nicht relevant für die Thematik)

Pubmed:

Recent queries				
Search	Add to builder	Query	Items found	Time
<a href="#">#4</a>	<a href="#">Add</a>	Select <b>13</b> document(s)	<a href="#">13</a>	06:16:00
<a href="#">#3</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>(#2) AND #1</b>	<a href="#">52</a>	05:50:54
<a href="#">#2</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>adipositas</b>	<a href="#">12691</a>	05:47:02
<a href="#">#1</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>bioimpedance analysis</b>	<a href="#">1058</a>	05:46:48

- ⌘ 6 Volltexte inkludiert, drei davon im Volltext exkludiert (treffen nicht die Thematik, eine Studie untersucht die Treffsicherheit von genetischen Veränderungen im Zusammenhang mit Biomarkern für Adipositas und ein HTA untersucht die generelle Aufnahme von Biomarkern in ein prospektives Dokumentationssystem für Gesundheitssysteme). 3 Studien wurden anhand ihrer Aussagen in den Abstracts zitiert.

Search	Add to builder	Query	Items found	Time
<a href="#">#4</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>bioelectrical impedance analysis</b> Filters: <b>Humans; Systematic Reviews</b>	<a href="#">58</a>	10:10:07
<a href="#">#7</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>van Marken Lichtenbelt W[Author]</b> Filters: <b>Humans; Systematic Reviews</b> Sort by: <b>Computed Author</b>	<a href="#">1</a>	09:59:16
<a href="#">#3</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>bioelectrical impedance analysis</b> Filters: <b>Systematic Reviews</b>	<a href="#">63</a>	09:52:08
<a href="#">#2</a>	<a href="#">Add</a>	Search <b>bioelectrical impedance analysis</b>	<a href="#">5938</a>	09:51:43

- ⌘ Ein weiterer Volltext und zwei weitere Abstracts inkludiert

## 4 Fachauskunft

### 4.1 Hintergrund

Eine genaue Messung der absoluten oder relativen (z.B. proportional zum gesamten Körpervolumen) Fettmasse ist ein Schlüsselfaktor für die Beobachtung der Entwicklung der Adipositas-Epidemie, deren Ursachen und Konsequenzen. Die relative Fettmasse geschätzt vom BMI (body mass index) ist durch Variationen der fettfreien Masse beeinflusst, vor allem in normalgewichtigen oder untergewichtigen Populationen.

Referenzmessungen wie Wasserverdrängungsmessung oder Isotopenverdrängung, die in medizinischen Studien genutzt werden, sind in großen Populationen schwer anzuwenden. Anthropologische Messmethoden sind trotz Untersuchervariabilität gut reproduzierbar.<sup>1,2</sup> Hautfalten- und Umfangmessungen sind weniger abhängig von der fettfreien Körpermasse als der BMI, könnten aber mehr subkutanes als viszerales Fett anzeigen.<sup>3</sup>

Jedenfalls sind Vorhersagen zu Adipositas durch den BMI, sowie Hautfalten und Körperumfangmessungen bei Erwachsenen wie Kindern gut korreliert und robust genug für die Anwendung in epidemiologischen Studien.<sup>4,5,6,7</sup>

In den letzten Jahren zeigt sich auch die Fuß-zu-Fuß Bioimpedanzanalyse (BIA) als geeignete Methode für die Messung der Körperkomposition bei großen Personengruppen. Nach dem National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement on BIA<sup>8</sup>, ist BIA genauer als der BMI und eventuell sogar genauer als Hautfaltenmessungen zur Schätzung der vergleichbaren Fettmasse. Die Genauigkeit der BIA und der Hautfaltenmessung wurden gegen Referenzmethoden bei Erwachsenen getestet.<sup>9,10,11,12</sup> Allerdings bestehen Zweifel, ob die bei Erwachsenen als nachvollziehbar getesteten Methoden auch für Kinder in gleichem Maße gelten.<sup>13,14</sup> In einer Studie mit Referenzdiagnostik DXA (Knochendichtemessung) fand Tyrell<sup>15</sup> bei Kindern im Pubertätsalter die BIA als genaueste anthropometrische Methode. DXA zeigte sich als eine sehr gute genaue Methode, um die Körperkomposition zu messen, allerdings mit eventuell leicht unterschätzender Körperfetttrate im Vergleich zu anderen Referenzmethoden.<sup>16</sup> Zusätzlich ist DXA eine schwierige und kostspielige und zeitintensive Untersuchung, was die Untersuchung großer Populationen limitiert.

BIA ist eine 1960 entwickelte populäre Methode zur Schätzung des relativen Körperfettanteils.<sup>17,18,19</sup> BIA ist eine relativ einfache, schnelle, tragbare und nicht invasive Meßmethode und wird in vielen Settings, darunter Privatkliniken und Wellnesszentren, aber auch Spitälern eingesetzt. Bei richtiger Anwendung und Kontrolle auf Fehlermessungen wird die BIA als eine Methode mit gleicher Genauigkeit wie Hautfaltenmessung beschrieben.<sup>20,21,22,23</sup> Die BIA ist in manchen Fällen der Hautfaltenmessung vorzuziehen, weil sie keine hohen Anforderungen an die technischen Fähigkeiten des Anwenders stellt und bequemer durchzuführen ist. Es wird jedoch debattiert, ob die BIA Veränderungen in der Zusammensetzung des Körperfettanteils während eines Diätprogramms mit Ziel Gewichtsverlust genau zu messen vermag.<sup>24</sup> Die publizierten Studien zeigen gemischte Ergebnisse, manche

unterstützen die Testgenauigkeit der BIA für die Entdeckung von Körperfett und Veränderungen in der Komposition des Körperfettanteils<sup>25:26:27</sup> während andere Studien substanzielle Über- oder Unterschätzungen im Vergleich zu Wasserverdrängungsmessungen finden<sup>28:29:30:31:32:33</sup>.

## 4.2 Kyle et al. 2004 (ESPEN Guidelines)<sup>34</sup>

Die Autoren berichten in dieser Übersichtsarbeit in Tabelle 1 über eine Reihe methodischer Limitationen durch verschiedene Meßmethoden und Patienten bedingte Einflüsse und kommen zu folgendem Schluss:

- BIA muss für die Population, bei der sie angewandt wird, validiert werden (Beachtung der Ethnischen Herkunft, des Alters, Geschlechts)
- Gesunde ältere Menschen: BIA Vergleichswerte, die bei jungen Menschen erstellt wurden, erzeugen für ältere Menschen einen großen Bias. Adjustierungen für die FFM (fettfreie Masse) und das altersspezifische BF (Körperfett) werden empfohlen
- Die Messung bei Personen spezieller ethnischer Gruppen muss adaptiert werden.
- Langzeitveränderungen bei Personen mit abnormaler Hydratation müssen mit Vorsicht interpretiert werden und sind limitiert in der Genauigkeit
- Die Nutzung der BIA bei Personen außerhalb der Standardmaße (besonders große, kleine, anders proportionierte, Personen mit Akromegalie, Amputationen, etc.) sollte mit großer Vorsicht erfolgen.

Aus den Studien in Tabelle 2 kommen die Autoren zu folgendem Schluss:

- Bei Personen mit Malnutrition und Personen mit Anorexia nervosa werden die Ergebnisse der BIA von variabler Gewebshydratation beeinflusst.
- Bei Personen mit extremen BMIs (<16 oder >43) werden prediction errors relevant, es können aber Langzeitveränderungen geschätzt werden
- Abnormale Gewebshydratation, Ödeme: hier sind inter-individuelle Unterschiede zu hoch, um vergleichbare Aussagen zu machen
- Neuromuskuläre Erkrankungen: BIA Analysen bedürfen noch genauerer Validierung, nur Langzeitveränderungen können geschätzt werden
- Segmentiale BIA scheint Abnormalitäten bei Patienten mit abnormer Körpergeometrie oder abnormem Flüssigkeitsstatus besser erkennen zu können

Studien zu Übergewicht und Fettleibigkeit werden wie folgt interpretiert:

- Initialmessung: BIA Ergebnisse sind valide bis zu einem BMI von 34, müssen aber darüber mit Vorsicht interpretiert werden
- Langzeit-Follow up: trotz größeren Abweichungen in den Absolutwerten sind Langzeitschätzungen bei moderat übergewichtigen Personen möglich, allerdings mit Limitation in der Genauigkeit

- Segmentale BIA (Stamm) und lokalisierte BIA (Arm oder Bauchumfang) kann die Körperfettbestimmung bei fettleibigen Personen möglich machen, bedarf aber noch genauerer Erforschung

### 4.3 Kettaneh et al. 2005<sup>35</sup>

Kettaneh et al. 2005 untersuchten 25 Buben (mittleres Alter 10,7; Range 9-12) und 39 Mädchen (mittleres Alter 10,9; Range 10-12). Ein Mädchen war fettleibig, zwei Buben und sechs Mädchen übergewichtig. Die mittleren Messwerte wurden mit der Summe der Hautfaltenmessungen und des Bauchumfangs innerhalb der Subjekte korreliert. Die Reproduzierbarkeit war ähnlich für die Summe der Hautfaltenmessungen, Körperumfang und BIA% Fettmessungen (intraclass correlation coefficients: 0.979–0.992). Korrelationskoeffizient zwischen BIA Körperfett % und LAV (latente Adipositas Variable) war höher als 0.86 in allen Geschlechts- und Tanner Stadium (Stadium der physischen Entwicklung in der Pubertät, Anm.) bezogenen Gruppen, und ähnlich bei Kindern und Erwachsenen mit Ausnahme der pubertierenden Buben (0.76). Die **Autoren schließen** daraus eine **hohe Reproduzierbarkeit der Fuß-zu-Fuß BIA mit verwertbaren Ergebnissen** zum totalen Fettanteil für epidemiologische Studien an Kindern, **empfehlen aber weitere Studien zur Übertragung der Ergebnisse auf übergewichtige Kinder.**

### 4.4 Powell et al. 2001<sup>36</sup>

Das Ziel der durchgeführten Untersuchung von Powell et al. war die Validierung der Fuß-zu-Fuß BIA für die Messung von Veränderungen in der Körperfettkomposition über 32 Wochen im Vergleich zur Wasserverdrängungsmessung und zur Hautfaltenmessung in einer Gruppe von 201 übergewichtigen Frauen, die an einem Gemeindeprojekt zum Gewichtsmanagement teilnahmen. Dabei wurden die Frauen instruiert, wie sie ihre Nahrungsaufnahme dokumentieren sollten, diese Dokumentationen wurden später computerbasiert ausgewertet. Die Ergebnismessung erfolgte mittels **Unterwassergewichtsmessung, Hautfaltenmessung und BIA**. Es wurden **keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Meßmethoden** gefunden. Die Autoren schließen daraus, dass BIA eine valide Meßmethode für ein derartiges Programm darstellt.

### 4.5 Nightingale et al. 2010<sup>37</sup>

Diese Studie sei nur am Rande der Thematik erwähnt, um darauf aufmerksam zu machen, dass **Unterschiede in der Körperkomposition zwischen verschiedenen Ethnien** bestehen.

Englische Kinder südasiatischer Herkunft hatten höhere Adipositas Level und schwarze afrikanisch-karibische Kinder hatten ähnliche oder niedrigere Adipositas Level im Vergleich zu weißen Kindern europäischer Herkunft. Diese Unterschiede wurden über den BMI nicht gut repräsentiert, der die Adipositas von Südasiaten systematisch unter- und von Afro-Karibianern systematisch überschätzt.

## 4.6 Ergebnisse der Abstract-Aussagen (kein free fulltext)

Die viszerale Fettmessung mittels BIA ist eine einfach anzuwendende und nützliche Methode, um Personen mit metabolischem Syndrom zu identifizieren. Der beste Cut-off für Männer liegt bei mehr als 12% und für Frauen bei mehr als 9%.<sup>38</sup>

Haas et al. testeten an 64 Freiwilligen (35 übergewichtig, 21 normalgewichtig, 8 untergewichtig), ob Veränderungen im Körperumfang die Genauigkeit der BIA bei der Körperfettanteilmessung beeinflussen. Die Referenzmessung war eine Luftverdrängungsmessung (*Air Displacement Plethysmography (ADP)*). Die Ergebnisse zeigten ähnliche Schätzungen der Gruppenmittelwerte, aber zwischen den einzelnen Individuen wurden große Unterschiede der verschiedenen Methoden gemessen. Auch wurde ein **systematischer Bias der BIA in Bezug auf den Grad der Adipositas** entdeckt. Es wurden mit der BIA der **Fettanteil und der Fettmasseverlust während der Gewichtsreduktion** bei den Übergewichtigen **konsequent unterschätzt** im Vergleich zur ADP. Bauch- und Hüftumfang waren inversiv assoziiert mit Widerstand und Reaktion. Bei den Frauen erklärte der Bauch- und Hüftumfang 76% der Veränderung, bei Männern 59%. Widerstandsveränderungen durch Veränderungen im Körperumfang beeinflussen die Genauigkeit der BIA.<sup>39</sup>

Marques-Vidal et al. finden die mittels **Körperfettanteil** definierte Übergewichtigkeit als **besseren Indikator für das 10-Jahres Risiko für tödliche kardiovaskuläre Ereignisse** als andere Übergewichtsmarker wie waist-hip-ratio oder BMI.<sup>40</sup>

Fogelholm findet als Ergebnis eines Literaturreview, dass die Unterschiede zwischen Wasserverdrängungsmessungen und jeder anderen **Methode abhängig von der Studie** ist. Manche Methoden zeigen eine Tendenz zur systematischen Über- oder Unterschätzung des Körperfettanteils.<sup>41</sup>

Ein systematischer Review mit Meta-Analyse untersuchte Auswirkungen von Interventionen am Arbeitsplatz auf die körperliche Aktivität, das Diätverhalten und das Gewicht. Daten wurden von 22 Studien aus 1980-2009 extrahiert. Die Ergebnisse zeigen eine moderate Evidenzqualität dafür, dass Arbeitsplatzinterventionen zu signifikanten Gewichtsreduktionen führen. Die Ergebnisse aus neun Studien zeigen ein mittleres Minus von 1,19 kg Gewicht, aus 11 Studien ein mittleres Minus des BMI von 0,34 kg/ m<sup>2</sup> und aus 3 Studien ein mittleres Minus an Körperfettanteil gemessen mit Hautfaltensumme von 1,12%. Die **Effekte auf den Körperfettanteil gemessen mit BIA oder Wasserverdrängung, Bauchumfang, Hautfalten oder waist-hip-ratio konnten** aufgrund fehlender Studien **nicht entsprechend evaluiert werden**.<sup>42</sup>

## 4.7 Schlussfolgerung

Generell ist die Messung des Körperfettanteils mittels Bioimpedanz eine **einfache und billige Methode**, die rasch ein Ergebnis liefert und damit im Vorteil zu anderen Körperfettanteilmessungen wie Volumenverdrängungsmessungen in Luft oder Wasser, teuren und Strahlen belastende Methoden wie DEXA (Knochendichte) oder



MRI (Magnetresonanz) oder Hautfaltenmessung (an neun verschiedenen Hautstellen, hohe Untersuchervariabilität) ist.

Die publizierten **Studien zu BIA zeigen gemischte Ergebnisse**, manche unterstützen die Testgenauigkeit der BIA für die Entdeckung von Körperfett und Veränderungen in der Komposition des Körperfettanteils während andere Studien substanzielle Über- oder Unterschätzungen im Vergleich zu anderen Meßmethoden (Volumenverdrängungsmessung, BMI, Hautfaltenmessung) finden.

Der Grad der Adipositas, die ethnische Herkunft und kindliches/pubertäres Alter, sowie die Veränderung während einer Gewichtsabnahme und bestimmte Zustände oder Erkrankungen mit abnormen Gewebsflüssigkeitsanteilen scheinen **Über- oder Unterschätzungen** im Körperfettanteil mittels BIA zu produzieren.

Bei der Verwendung von BIA als Outcome-Indikator ist sorgfältig auf die interne Validität zu achten. (Wird gemessen, was gemessen werden soll?).

Aufgrund der kurzen Zeitvorgabe und ohne exakte Kenntnis des Projektprotokolls kann nur auf Ebene der Fachauskunft (Systematik der Suche reduziert, keine Qualitäts- und Evidenzstufenauswertung) **keine Aussage für oder gegen die Verwendung der BIA als Grundlage und Verlaufskontrolle einer Ernährungsberatung/-therapie** gemacht werden.

---

<sup>1</sup> Wilmore JH, Stanforth PR, Domenick MA, et al. Reproducibility of anthropometric and body composition measurements: The heritage family study. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1997; 21:297–303. [PubMed: 9130027] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre

Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>2</sup> Mueller WH, Malina RM. Relative reliability of circumferences and skinfolds as measures of body fat distribution. *Am J Phys Anthropol.* 1987; 72:437–9. [PubMed: 3605318] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>3</sup> Bonora E, Micciolo R, Ghiatas AA, et al. Is it possible to derive a reliable estimate of human visceral and subcutaneous abdominal adipose tissue from simple anthropometric measurements? *Metabolism.* 1995; 44:1617–25. [PubMed: 8786733] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>4</sup> Bonora E, Micciolo R, Ghiatas AA, et al. Is it possible to derive a reliable estimate of human visceral and subcutaneous abdominal adipose tissue from simple anthropometric measurements? *Metabolism.* 1995; 44:1617–25. [PubMed: 8786733] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>5</sup> Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: Age- and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr.* 1991; 65:105–14. [PubMed: 2043597] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>6</sup> Lean ME, Han TS, Deurenberg P. Predicting body composition by densitometry from simple

anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr.* 1996; 63:4–14. [PubMed: 8604668] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>7</sup> Lohman TG, Caballero B, Himes JH, et al. Estimation of body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in native american children. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2000; 24:982–8. [PubMed: 10951536] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>8</sup> Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement: National institutes of health technology assessment conference statement. *Am J Clin Nutr.* 1996; 64:524S–32S. [PubMed: 8780375] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>9</sup> Eaton AW, Israel RG, O'Brien KF, Hortobagyi T, McCammon MR. Comparison of four methods to assess body composition in women. *Eur J Clin Nutr.* 1993; 47:353–60. [PubMed: 8319671] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

Reilly JJ, Murray LA, Wilson J, Durnin JV. Measuring the body composition of elderly subjects: A comparison of methods. *Br J Nutr.* 1994; 72:33–44. [PubMed: 7918327] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>10</sup> Desport JC, Preux PM, Guinvarc'h S, et al. Total body water and percentage fat mass measurements using bioelectrical impedance analysis and anthropometry in spinal cord-injured patients. *Clin Nutr.* 2000; 19:185–90. [PubMed: 10895109] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>11</sup> Swinburn BA, Ley SJ, Carmichael HE, Plank LD. Body size and composition in polynesians. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1999; 23:1178–83. [PubMed: 10578208] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>12</sup> Swinburn BA, Ley SJ, Carmichael HE, Plank LD. Body size and composition in polynesians. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1999; 23:1178–83. [PubMed: 10578208] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>13</sup> Hammond J, Rona RJ, Chinn S. Estimation in community surveys of total body fat of children using bioelectrical impedance or skinfold thickness measurements. *Eur J Clin Nutr.* 1994; 48:164–71. [PubMed: 8194501] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>14</sup> Mast M, Sonnichsen A, Langnase K, et al. Inconsistencies in bioelectrical impedance and anthropometric measurements of fat mass in a field study of prepubertal children. *Br J Nutr.* 2002; 87:163–75. [PubMed: 11895169] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>15</sup> Tyrrell VJ, Richards G, Hofman P, Gillies GF, Robinson E, Cutfield WS. Foot-to-foot bioelectrical impedance analysis: A valuable tool for the measurement of body composition in children. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2001; 25:273–8. [PubMed: 11410831] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of

bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>16</sup> Bray GA, DeLany JP, Volaufova J, Harsha DW, Champagne C. Prediction of body fat in 12-y-old african american and white children: Evaluation of methods. *Am J Clin Nutr.* 2002; 76:980–90. [PubMed: 12399269] in Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetière, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>17</sup> National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement: Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. *Am J Clin Nutr* 64(Suppl):524S–532S, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>18</sup> Heymsfield SB, Wang QM, Visser M, Gallagher D, Pierson RN: Techniques used in the measurement of body composition: An overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64(Suppl):478S–484S, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>19</sup> Heyward VH, Stolarczyk LM: “Applied Body Composition Assessment.” Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>20</sup> National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement: Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. *Am J Clin Nutr* 64(Suppl):524S–532S, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>21</sup> Heyward VH, Stolarczyk LM: “Applied Body Composition Assessment.” Champaign, IL: Human Kinetics, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>22</sup> Heyward VH: Evaluation of body composition: current issues. *Sports Med* 22:146–156, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>23</sup> Lockner DW, Heyward VH, Griffin SE, Marques MB, Stolarczyk LM, Wagner DR: Cross-validation of modified fatness-specific bioelectrical impedance equations. *Int J Sport Nutr* 9:48–59, 1999. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>24</sup> Heyward VH: Evaluation of body composition: current issues. *Sports Med* 22:146–156, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander,

MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>25</sup> Evans EM, Saunders MJ, Spano MA, Arngrimmson SA, Lewis RD, Cureton KJ: Body-composition changes with diet and exercise

in obese women: a comparison of estimates from clinical methods and a 4-component model. *Am J Clin Nutr* 70:5–12, 1999. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>26</sup> Ross R, Legar L, Marin P, Roy R: Sensitivity of bioelectrical impedance to detect changes in human body composition. *J Appl*

*Physiol* 67:1643–1648, 1989. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>27</sup> Kushner RF, Kunigk A, Alspaugh M, Andronis PT, Leitch CA, Schoeller DA: Validation of bioelectrical impedance analysis as a

measurement of change in body composition in obesity. *Am J Clin Nutr* 52:219–223, 1990. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>28</sup> Deurenberg P, Weststrate JA, van der Kooy K: Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements. *Am J*

*Clin Nutr* 49:401–443, 1989. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>29</sup> Van der Kooy K, Leenen R, Deurenberg P, Seidell JC, Westerterp KR, Hautvast JG: Changes in fat-free mass in obese subjects after

weight loss: a comparison of body composition measures. *Int J Obes* 16:675–683, 1992. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>30</sup> Vazquez JA, Janosky JE: Validity of bioelectrical-impedance analysis in measuring changes in lean body mass during weight reduction.

*Am J Clin Nutr* 54:970–975, 1991. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>31</sup> Carella MJ, Rodgers CD, Anderson D, Gossain VV: Serial measurements of body composition in obese subjects during a verylow-

energy diet (VLED) comparing bioelectrical impedance with hydrodensitometry. *Obes Res* 5:250–256, 1997. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>32</sup> Hendel HW, Gotfredsen A, Hojgaard L, Andersen T, Hilsted J: Change in fat-free mass assessed by bioelectrical impedance, total

body potassium and dual X-ray absorptiometry during prolonged weight loss. *Scand J Clin Lab Invest* 56:671–679, 1996. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk

Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>33</sup> Bumgartner RN, Ross R, Heymsfield SB: Does adipose tissue influence bioelectric impedance in obese men and women? *J Appl*

*Physiol* 84:257–262, 1998. In Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD, Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>34</sup> Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, Lilienthal Heitmann B, Kent-Smith L, Melchior JC, Pirlich M, Scharfetter H, M W J Schols A, Pichard C; ESPEN. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr.* 2004Dec;23(6):1430–53.

<sup>35</sup> Adrien Kettaneh, Barbara Heude, Agnès Lommez, Jean-Michel Borys, Pierre Ducimetièrre, and Marie-Aline Charles. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab.* 2005 December ; 31(6): 534–541.

<sup>36</sup> Leslie A. Powell, MA, RD, David C. Nieman, DrPH, Chris Melby, DrPH, Kirk Cureton, PhD, Dan Schmidt, PhD,

Edward T. Howley, PhD, James O. Hill, PhD, James R. Mault, MD, Heather Alexander, MS, RD, and Darby J. Stewart, PhD. Assessment of Body Composition Change in a Community-Based Weight Management Program. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 20, No. 1, 26–31 (2001)

<sup>37</sup> Claire M Nightingale,\* Alicja R Rudnicka, Chris G Owen, Derek G Cook and Peter H Whincup Patterns of body size and adiposity among UK children of South Asian, black African–Caribbean and white European origin: Child Heart And health Study in England (CHASE Study). *International Journal of Epidemiology* 2011;40:33–44 doi:10.1093/ije/dyq180

<sup>38</sup> Ozhan H ; Alemdar R ; Caglar O ; Ordu S ; Kaya A ; Albayrak S ; Turker Y ; Bulur S. Performance of bioelectrical impedance analysis in the diagnosis of metabolic syndrome. *J Investig Med.* 2012 Mar;60(3):587-91.

<sup>39</sup> Haas V ; Engeli S ; Hofmann T ; Riedl A ; Haufe S ; Kast P ; Wiesner S ; Bohnke J ; Jordan J ; Boschmann M. Variations in truncal body circumferences affect fat mass quantification with bioimpedance analysis. *Eur J Clin Nutr.* 2012 Feb;66(2):196-200. doi: 10.1038/ejcn.2011.154. Epub 2011 Sep 7.

<sup>40</sup> Marques-Vidal P ; Bochud M ; Mooser V ; Paccaud F ; Waeber G ; Vollenweider P. Obesity markers and estimated 10-year fatal cardiovascular risk in Switzerland. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2009 Sep;19(7):462-8. Epub 2009 Jan 29.

<sup>41</sup> Fogelholm M, van Marken Lichtenbelt W. Comparison of body composition methods: a literature analysis. *Eur J Clin Nutr.* 1997 Aug;51(8):495-503.

<sup>42</sup> Verweij LM, Coffeng J, van Mechelen W, Proper KI. Meta-analyses of workplace physical activity and dietary behaviour interventions on weight outcomes. *Obes Rev.* 2011 Jun;12(6):406-29. doi: 10.1111/j.1467-789X.2010.00765.x. Epub 2010 Jun 7.